



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

SISTEMA ELECTRÓNICO INTEGRADO ANTIRROBO PARA BICICLETAS

DANIELA LEAL ORJUELA

**FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTRONICA Y DE TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
BOGOTÁ
2018**

SISTEMA ELECTRÓNICO INTEGRADO ANTIRROBO PARA BICICLETAS

DANIELA LEAL ORJUELA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

Director: ING. DANIEL AVILA.

**FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTRONICA Y DE TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
BOGOTÁ, D.C.
2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Este trabajo de grado se lo dedico a mi madre, mi padre, mis abuelitas y mi

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mi madre Diana Orjuela quien con su apoyo incondicional, su paciencia, amor y optimismo me ha brindado las herramientas necesarias para enfrentar mi vida personal y profesional, a mi padre Edwin Leal que ha trabajado con dedicación y perseverancia para darme la oportunidad que conocer y vivir la academia, a mi hermano Nicolás Leal que ha sido siempre mi fiel amigo, compañero de aventuras, que con su curiosidad intrépida me ha ayudado a recordar y ejercitar muchas de las temáticas abordadas en la universidad, a mi abuelita Miryam Cárdenas quien siempre ha estado al pendiente de mis tropiezos y mis logros, que siempre se alegra de mis proyectos así no los comprenda muy bien.

Agradezco a la Universidad Católica de Colombia por permitirme ser parte de su comunidad de estudiantes, al ingeniero Daniel Ávila quien me acompañó en todo el proceso de la propuesta de anteproyecto y durante el trabajo de grado siempre procuro estar al tanto así no le correspondiera, gracias por ser quien me motivo a realizar algo relacionado con lo que disfruto hacer como lo es montar bicicleta, al ingeniero German Álvarez por tomarse el tiempo de escuchar mis ideas y de apoyarme en aquellos momentos donde obtuve más fallas que aciertos.

También mis más sinceros agradecimientos a Tecnoparque, lugar donde tuve acceso a infraestructura física y tecnología de laboratorios especializados de electrónica en los cuales aprendí los diferentes procesos que se pueden emplear en la realización de un diseño de circuito impreso, así como un correcto ensamble usando sus estaciones de soldadura. Quiero agradecer a Camilo Velandia por todas sus recomendaciones y por estar siempre presto a aclarar mis inquietudes.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 GENERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. ANTECEDENTES	19
5. DELIMITACIÓN.....	23
5.1 LIMITANTES DEL RECEPTOR G.P.S	23
6. MARCO TEÓRICO.....	24
6.1 Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S).	24
6.2 Sistema global para comunicaciones móviles (G.S.M)	28
6.3 MICROCONTROLADOR	33
7. MARCO CONCEPTUAL.....	35
7.1 MODALIDADES DE HURTO	35
7.2 tipos de bicicleta.	37
8. METODOLOGÍA.....	39
8.1 RECOPIACION DE INFORMACION	39
8.2 PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS GENERALES	39
8.3 IMPLEMENTACION.....	40
8.4 VALIDACIÓN EXPERIMENTAL	40
9. DISEÑO METODOLÓGICO	41
9.1 SEÑALES DEL MODULO G.P.S AL MICROCONTROLADOR.....	41
9.1 PROCESAMIENTO DE TRAMA.....	42
9.2 COMANDOS DEL microcontrolador AL MODULO G.S.M.....	43
10. DISEÑO DE CIRCUITO IMPRESO.....	44
10.1 Descripción general del prototipo	44
10.2 Descripción detallada del sistema	44
11. DESCRIPCION DE COMPONENTES	49
11.1 general	49

11.2	Receptor G.P.S	49
11.3	Modulo G.S.M SIM800L	50
11.4	Tarjeta Arduino Nano.	51
11.5	Regulador de Voltaje	53
11.6	Batería recargable polímero de litio	53
11.7	Modulo de carga para batería.....	54
11.8	MATERIALES.....	55
12.	IMPLEMENTACIÓN.....	56
12.1	PROCEDIMIENTOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	56
12.2	CODIGO EN ARDUINO.....	63
12.3	Alimentación	65
12.4	Reguladores de voltaje.....	65
12.5	IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO ELECTRONICO DEL SISTEMA.....	68
12.6	Diseño y elaboración de placa de circuito impreso (PCB)	73
12.7	Encerramiento electronico	79
12.8	aplicativo movil	81
12.9	montaje de dispositivo en bicicleta	84
13.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	85
14.	IMPACTO DEL PROYECTO.....	87
15.	DESCRIPCION ECONOMICA DEL PROYECTO	88
	CONCLUSIONES	89
16.	ANEXOS	90
	bibliografia	91

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de bicicletas y sus características.....	37
Tabla 2. Secuencia de datos procesadas por el receptor G.P.S.	42
Tabla 3. Secuencia de datos filtradas por el microcontrolador.	42
Tabla 4. Comandos AT para modulo G.S.M.....	43
Tabla 5. Especificaciones técnicas tarjeta Arduino Nano.....	52
Tabla 6. Conexión modulo GPS Neo-6M y tarjeta Arduino Nano.	56
Tabla 7. Componentes electrónicos y materiales requeridos para el llevar a cabo sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dispositivo con G.P.S integrado Sherlock.....	21
Figura 2. Tapón superior SpyBike	22
Figura 3. Estructura básica del G.P.S.....	25
Figura 4. Formato del mensaje de navegación (SV=Space Vehicule).....	25
Figura 5. Distancia cubierta por satélite 1 en 2D.	26
Figura 6. Trilateralización de tres satélites en 2D.....	27
Figura 7. Trilateralización satelital de tres satélites en 3D.	27
Figura 8. Concepto de red celular.	29
Figura 9. Diagrama de la organización de la red GSM.....	30
Figura 10. Arquitectura de la red GSM.	32
Figura 11. Frecuencias de operación de la red GSM.....	33
Figura 12. Diagrama interno de un microcontrolador.....	34
Figura 13. Uso de llaves inglesas para abrir candados.	36
Figura 14. Bicicleta MTB full-suspensión.	37
Figura 15. Bicicleta de ruta con manubrio drop-bar.	37
Figura 16. Bicicleta híbrida.	38
Figura 17. Bicicleta urbana.	38
Figura 18. Bicicleta plegable.	38
Figura 19. Bicicleta Fixie.	38
Figura 20. Diagrama de bloques metodología del trabajo de grado.....	39
Figura 21. Diseño metodológico del trabajo de grado.	41
Figura 22. Diagrama de Bloques Generales del prototipo del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.	44
Figura 23. Diagrama de Bloques detallados del módulo de procesamiento ATmega328P.	45
Figura 24. Diagrama interno del módulo G.S.M/G.P.R.S.	46
Figura 25. Diagrama interno del módulo G.P.S.	47
Figura 26. Diagrama de bloques detallado del módulo de alimentación.	48
Figura 27. Modulo G.P.S Neo 6-M.	49
Figura 28. Módulo SIM800L.	50
Figura 29. Tarjeta Arduino Nano.....	52
Figura 30. Regulador de Voltaje.	53
Figura 31. Batería de Litio.....	54
Figura 32. Modulo para carga de la batería.	54
Figura 33. Diagrama de flujo comunicación serial tarjeta Arduino Nano.	57
Figura 34. Monitor serial COM 9.....	57
Figura 35. Diagrama de flujo del sistema.....	58
Figura 36. Monitor serial COM9 – Latitud y longitud.	59
Figura 37. Conexión entre Arduino Nano y módulo GSM SIM800L- Proteus.....	60
Figura 38. Monitor serial COM10 – Estado de módulo GSM.....	60
Figura 39. Monitor serial COM10 – Error en comandos AT.....	61
Figura 40. Monitor serial COM10 – Envío de SMS.....	61

Figura 41. Captura de pantalla Prueba1.	62
Figura 42. Monitor serial COM9 – Envío de SMS.	62
Figura 43. Diagrama de flujo – código fuente del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicleta.	64
Figura 44. Baterías POLI 3.7V en serie.	65
Figura 45. Regulador de 5V – Tarjeta Arduino Nano.	66
Figura 46. Medición salida de voltaje – Regulador 5V.	66
Figura 47. Modulo regulador de tensión AMS1117.	67
Figura 48. Esquema regulador de voltaje variable.	67
Figura 49. Medición salida de voltaje – Regulador 4V en proteus.	68
Figura 50. Circuito del sistema integrado electrónico antirrobo para bicicletas en Altium Designer 17.	69
Figura 51. Captura de pantalla – SMS prueba 1.	69
Figura 52. Captura de pantalla – Google maps prueba 1.	70
Figura 53. Monitor serial COM10 – Prueba 2.	71
Figura 54. Captura de pantalla – Prueba 2.	71
Figura 55. Captura de pantalla – Google maps prueba 2.	72
Figura 56. Monitor serial COM10 – Prueba 3.	73
Figura 57. Esquemático del circuito en Altium Designer 17.	74
Figura 58. Ruteo de la PCB en Altium.	75
Figura 59. Gerber de capa Bottom Layer.	75
Figura 60. Gerber de capa Top Layer.	76
Figura 61. Ruteo del circuito impreso doble cara.	76
Figura 62. Ubicación del circuito impreso en el horno.	77
Figura 63. Cámara de Luz.	77
Figura 64. PCB – Capa Bottom Layer.	78
Figura 65. PCB – Capa Top Layer.	78
Figura 66. Luz led patch roja y batería alcalina 12V	79
Figura 67. Encerramiento electrónico del Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.	79
Figura 68. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte. ...	80
Figura 69. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte. ...	80
Figura 70. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte – Luz encendida.	81
Figura 71. Diagrama de bloques de código fuente – Aplicativo LocBike	82
Figura 72. Captura de pantalla – Instalación app LocBike	83
Figura 73. Interfaz de usuario diseñada en app inventor	83
Figura 74. Sistema electrónico integrado antirrobo montado en bicicleta fixie	84
Figura 75. Captura de pantalla - Prueba final.	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Código fuente comunicación serial Arduino Nano	90
Anexo 2. Comandos AT de módulo SIM800L – Mensajes de texto	90

RESUMEN

La ciudad de Bogotá tiene diversos aspectos que desfavorecen la calidad de vida de las personas que la habitan, independientemente vengan de otras ciudades de Colombia u otros países del mundo, cada uno tiene su propia cultura, ideología y principios fundamentales, que se ven vulnerados cada vez que se enfrentan a los problemas de movilidad e inseguridad que tiene la ciudad y que en lugar de disminuir continúan cada día en aumento.

Dentro de los gremios más afectados por la inseguridad se encuentran los ciclistas bogotanos, quienes necesitan tomar precauciones a partir del momento que salen de su casa y hacer uso de herramientas que garanticen en alguna medida su seguridad, es por esto que se ha vuelto un negocio el adquirir una bicicleta de media y alta gama ya que requieren una guaya anti-cizalla o un candado con alarma que alerte cuando está siendo vulnerado. Estas herramientas garantizan una protección cuando la bicicleta se encuentra en reposo, pero al estar el ciclista en movimiento no hay muchas alternativas de las que se pueda valer para prevenir un intento de robo o atraco.

Este Trabajo de grado presenta el panorama actual de inseguridad que viven los ciclistas de la ciudad de Bogotá, así como todo el estado del arte relacionado con las bicicletas y dispositivos que han sido fabricados con algún tipo de sistema que devela su localización, también se encuentra toda la información de la investigación realizada que sustenta la metodología a seguir, como base para la creación de un sistema electrónico integrado antirrobo para bicicleta que busca dar solución a la gran problemática de seguridad evidenciada en la capital como lo es el hurto de bicicletas.

Palabras clave: Seguridad, bici usuarios, hurto, sistema.

INTRODUCCIÓN

La bicicleta día a día se ha convertido en un medio de transporte usado por varios habitantes de la capital ya que permite recorrer largas distancias en corto tiempo y ayuda a la economía de los usuarios. Sin embargo, comparándolo con las ciudades antioqueñas que presentan un esquema conservador de unión familiar y con gran sentido de pertenencia por su tierra, Bogotá es una ciudad con un clima que describe un poco a sus habitantes: Fríos y cambiantes, donde hay personas que no se preocupan por el bienestar del otro, sino por el suyo, un lugar donde se desconfía fácilmente de cualquiera, quizá estos comportamientos se deban a la combinación de culturas presentes, en donde no hay una equidad de principios sino que prima el bien personal sobre el bien común.

Todo lo anterior, es el desencadenante de una postura ciudadana de prevención por el tema de inseguridad que vive la ciudad, en especial los ciclistas bogotanos quienes frecuentemente se ven sumergidos en escenarios de peligro donde los delincuentes intentan apropiarse de su bicicleta e incluso logran que muchas personas opten por no hacer uso de la misma debido a esta latente problemática.

Independientemente de que Bogotá tenga la ciclo ruta más larga de américa latina y promueva constantemente el uso de la bicicleta los domingos y festivos, así como la ciclo-vía nocturna en algunas fechas especiales no será posible generar un aumento considerable de personas que hagan uso de la bicicleta en su vida diaria si no se hace algo para disminuir la tasa de hurto de bicicletas en la capital.

En este trabajo de grado, se presenta el plan de trabajo creado para diseñar los elementos necesarios que contemplan el desarrollo de un sistema electrónico antirrobo para bicicleta.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Es normal observar que, en cualquier ciudad, las personas arriesgan su vida para salvar sus pertenencias al exponerse a robos o atracos sin obtener éxito alguno, ya que regularmente los delincuentes terminan sacando partida del acto delictivo.

“Uno de los gremios afectados y que es vulnerable por estas prácticas son los ciclistas. Bogotá es la capital del país donde más viajes se realizan semanalmente en bicicleta con aproximadamente 780.000 y en jornadas como ciclo vía nocturna o el día sin carro más de 2'000.000 de personas se movilizan en bicicleta”¹.

La alcaldía de Bogotá por medio de la Ley 1811 del 2016 ha incentivado el uso de la bicicleta como medio de transporte habilitando los llamados ciclo-carriles y campañas que permiten a los usuarios de bicicleta poder hacer uso de las mismas ya sea para su transporte diario o su propio ocio con el fin de mejorar la calidad de vida de la población, evitar el sobrepeso y disminuir la contaminación, la congestión vial y el desorden que causan los transportes masivos.

La problemática radica en la falta de protección que tiene un ciclista puesto que entre más se incentiva el uso de la misma, mayor es el aumento de robos que existe. A continuación, algunas cifras importantes a tener en cuenta:

“En el año 2017 fueron hurtadas en Bogotá 3.133 bicicletas, además, se estima una media diaria de al menos 8 bicicletas hurtadas en la ciudad, es decir una bicicleta cada tres horas. Esto representa un aumento del robo de estos vehículos en un 58,9%”².

En el presente año, hasta el mes de julio, se registraron 4.011 denuncias por hurto de bicicleta en Bogotá; Cada 75 minutos se reconoce como robada una bicicleta en la ciudad, de estos, 530 hurtos de bicicletas han ocurrido en ciclo rutas. Según estos datos: Suba es la localidad más afectada, en los primeros siete meses de 2018 han sido hurtadas 647 bicicletas, es decir que allí ocurren el 16 % de los hechos. Le

¹ BOGOTA COMO VAMOS. Encuesta de percepción ciudadana (en línea). 28 de noviembre de 2016. Recopilado en: 20 de agosto de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2hdGkWh>).

² EL ESPECTADOR. Cada tres horas es hurtada una bici en Bogotá (en línea). 9 de febrero de 2018. Recopilado en: 11 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/jiZN4Y>).

siguen Engativá (540), Kennedy (483), Usaquén (441), Teusaquillo (272) y Chapinero (268). En estas cinco zonas se concentran el 66 % de los robos.³

El contraste actual demuestra que los esfuerzos por parte de los ciclistas no han dado el mejor de los resultados ya que se necesita tan solo un minuto para abrir un candado, violentarlo o acceder a él por fuerza, del mismo modo un robo a mano armada o ejecutado por un grupo de delincuentes toma poco tiempo. Las cifras que han sido mencionadas evidencian el inminente escenario al que se enfrentan los ciclistas en la actualidad, la prevención ya no es una opción, se necesitan herramientas que auxilien al bici usuario cuando se presente un hurto.

Existen varios tipos de alarmas implementadas en bicicletas que permiten exponer al delincuente y generar presión suficiente como para hacerlo dejar la bicicleta, pero es tan sencillo como retirar el dispositivo de alarma y desactivarla destruyéndola.

¿Qué sucedería si existiera un dispositivo oculto en algún lugar de la bicicleta que permitiese el rastreo y monitoreo de su localización? Las respuestas son amplias: El ciclista sabría su localización después de un robo, se podrían aprender a los delincuentes o personas que compran bicicletas robadas con suficientes pruebas para ejercer todo el peso de la ley sobre ellos, ningún ciclista perecería en un intento de proteger sus bienes como han pasado en varios casos y existiría una posibilidad real de recuperar la bicicleta hurtada.

Dado lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo implementar un Sistema electrónico antirrobo para bicicleta que sea una herramienta tecnológica generadora de seguridad con la capacidad de localizar una bicicleta que ha sido hurtada?

³ DIJIN, POLICIA NACIONAL. Datos abiertos de enero a junio de 2018 (en línea). 28 de junio de 2018. Recopilado en: 18 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2R3oEPw>).

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Desarrollar un sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar sistema electrónico y de comunicación que permita el monitoreo de bicicletas.
- Crear un aplicativo móvil donde sea posible visualizar la ubicación en tiempo real del GPS.
- Implementar dispositivo electrónico antirrobo en bicicleta.

3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario investigar y explorar un nuevo sistema que el hurto de bicicletas continúe en este aumento incontrolable con el que cerrara el presente año y probablemente con el que empezara el año 2019. Está claro para la ciudadanía que la seguridad en la capital no es un tema relevante para el estado, ya que no se han ejecutado políticas o normas que protejan al usuario del actual clima de inseguridad al que enfrenta.

Teniendo en cuenta que a la policía nacional se le sale de las manos controlar el hurto de bicicletas (razón por la cual se ha vuelto una de las practicas más frecuentadas por las bandas delincuenciales) ya que es una porción de la población la que se moviliza en bicicleta desde y hacia diferentes lugares de Bogotá. Surge la necesidad de brindar al ciclista una herramienta tecnológica que le pueda dar la posibilidad de recuperar su bicicleta después de ser hurtada.

Actualmente en el país se encuentran dispositivos GPS que pueden ser usados para un carro, una moto o una bicicleta, son estándar (su uso se emplea en carros, motocicletas o bicicletas) y algunos son bastante grandes. No existe un dispositivo exclusivo para bicicleta que permita ser escondido en alguna de sus partes o usado como un accesorio.

La población que ha desistido del uso de bicicleta como transporte publico indirectamente ayuda a generar una sociedad más caótica en términos de transporte y menos tolerante porque deben usar el Transmilenio donde pierden entre 2 y 5 horas de su día en movilización dentro de portales y buses para llegar a sus respectivos lugares de trabajo o casa, en otras palabras, pierden tiempo vital que dejan de usar compartiendo con sus seres queridos o creciendo personal y profesionalmente.

4. ANTECEDENTES

En la búsqueda de la técnica de sistemas tecnológicos de seguridad se encontraron diferentes dispositivos de rastreo para bicicletas, a continuación, se mencionan aquellos estudios y artículos donde que hacen uso del Sistema de Posicionamiento Global G.P.S. en bicicletas.

Cecchettini presenta un artículo que hace referencia a un método de seguridad llamado bicicleta de cebo donde se pretende equipar a una bicicleta costosa (que exceda el umbral de valor para la clasificación de un delito grave) con un sistema de rastreo oculto, con el fin de empezar un proceso judicial contra los delincuentes. Se hace uso de transmisores y receptores de radiofrecuencia (R.F) activados que son activados mediante movimiento, también cuenta con Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S) que permite determinar la ubicación exacta de la bicicleta⁴.

Por otro lado, Jeong Joo presenta el resultado de un estudio donde se propone una metodología para categorizar entornos de ciclismo en la búsqueda de aumentar el uso de bicicletas. El estudio se llevó a cabo utilizando sistemas de posicionamiento global (G.P.S) en bicicletas públicas, el monitoreo realizado durante varias semanas permitió hacer un registro estadístico extrayendo el nivel de entornos donde se emplean rutas de ciclismo con los datos de aceleración y velocidad que se obtienen del usuario, toda la información encontrada fue usada para hacer un monitoreo del tráfico de bicicletas⁵.

En otro artículo, Secom presenta el desarrollo de la primera bicicleta eléctrica equipada con un dispositivo de sistema de posicionamiento global (G.P.S) que se vincula a los servicios de seguridad suministrados por la empresa de seguridad japonesa SECOM. Cuenta con un pequeño motor eléctrico que ofrece una autonomía de 62 Km, la propuesta de equipar las bicicletas con un G.P.S fue realizada por National Bicycle con el fin de permitir a los propietarios localizarlas vía internet si llegan a ser hurtadas, una vez localizadas la agencia de seguridad puede enviar a un agente para la reclamación, también puede ir el usuario a recogerla si

⁴ CECCHETTINI, J. La nueva clase de bicicleta de cebo. *Law Enforcement Technology*. 2016. p. 36-38. Recopilado en: 16 de octubre de 2018.

⁵ JOO, S. OH, C. JEONG, E. LEE, G. Categorizing bicycling environments using GPS-based public bicycle speed data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015. p. 239 – 250. Recopilado en: 16 de octubre de 2018.

cree que han sido robadas. La plataforma permite al usuario ubicar la bicicleta en tiempo real conectándose al sitio web de SECOM o llamando a un operador⁶.

Por otro lado, la empresa Investor's Business presenta el desarrollo un sistema automático que permite el rastreo de bicicletas teniendo en cuenta que los negocios dedicados al alquiler de bicicletas en la ciudad presentan varios desafíos a nivel de control, comunicación y seguridad de las bicicletas. El desarrollo se estructura basándose en el uso de Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S) y una nube que se encargara de guardar la ubicación de cada bicicleta, junto con las distancias recorridas⁷.

En otro artículo se presenta un desarrollo de la empresa Wahoo Element donde afirma ser "poderosamente simple" e intuitivo ya que realiza fácilmente un seguimiento constante por medio del G.P.S del móvil, mostrando el recorrido realizado y guarda las rutas favoritas y registra datos de rendimiento. Los indicadores de luz programables permiten saber cuándo el ritmo cardíaco y velocidad están por encima o por debajo de los objetivos⁸.

También se encontró Sherlock que es una marca de seguridad para bicicletas con sede en Turín, Italia. La solución del mercado de accesorios incorpora un pequeño dispositivo antirrobo, que está diseñado para ocultarse en el manillar de cualquier bicicleta como se muestra en la Figura 1, y una aplicación móvil. El dispositivo integra un módulo G.P.S para localización, un módulo G.P.R.S para conectividad a Internet y Bluetooth de baja energía. Viene con dos años de conectividad de red incluidos en el precio de compra⁹.

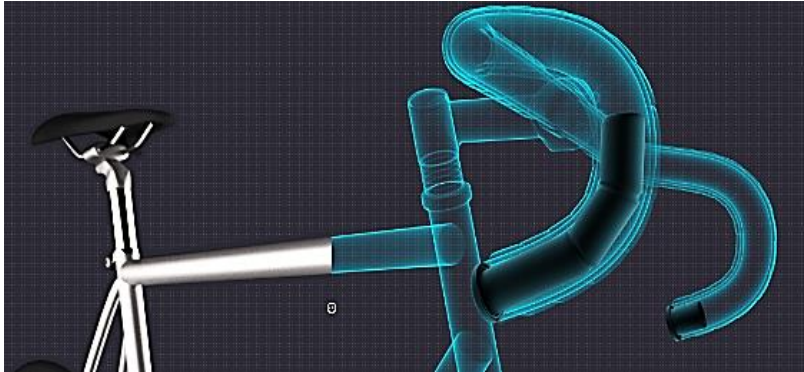
⁶ ACCES INTELLIGENCE LLC. Matsushita Affiliate Introduces First GPS-equipped Electric Bicycle, Satellite Today. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.

⁷ INVESTOR'S BUSINESS. GPS-tracked bikes roll into NYC. 2010. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.

⁸ VAN SACK, J. BRIEF: ELEMNT provides a GPS and more for your bike. 2016. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.

⁹ ORANGE BUSINESS. Sherlock Connects GPS-Based Anti-Theft Device for Bicycles to Global IoT Network from Orange Business Services. 2016. Recopilado en: 22 de octubre de 2018.

Figura 1. Dispositivo con G.P.S integrado Sherlock



Fuente: SHERLOCK. Dispositivo GPS integrado. Recopilado en: 22 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://www.sherlock.bike/en/>).

Adicionalmente, Bike+ Es un sistema de rastreo que tiene acelerómetro y conexión 3G, los cuales permiten al sistema para detectar cuando la bicicleta está siendo robado, entonces tanto suena una alarma local y avisa del robo a través de mensajes de texto. A partir de ahí, si no se puede atrapar al ladrón rápidamente, podrá rastrear dónde se ha llevado su bicicleta gracias a un relevo en tiempo real de las coordenadas del G.P.S a su teléfono a través de la aplicación complementaria. Para asegurarse de que el seguimiento de la ubicación fuera lo más preciso posible, Bike + utiliza módulos robustos G.P.S y 3G ubicados en extremos opuestos dentro del dispositivo, rastrea las estadísticas y rutas de los viajes en tiempo real, y Bluetooth te permite acceder a la información inmediatamente si el usuario decide montar su teléfono en el manillar¹⁰.

En otro documento, Borel presenta en un artículo con diferentes accesorios antirrobo para bicicletas, incluyendo la cerradura de acero inoxidable, un sillín rastreable y el SpyBike que es un tapón superior con Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S) de la bicicleta. Los diseñadores de SpyBike escondieron un sistema de seguimiento, que incluye una tarjeta SIM y una radio G.P.S, dentro de un cilindro como se muestra en la Figura 2. Que se desliza dentro de un tubo estándar para el manillar. Si un ladrón mueve la bicicleta, un acelerómetro activa el sistema alimentado por iones de litio para enviar un mensaje de texto al propietario, quien luego puede rastrear la ubicación de su bicicleta en Google Maps¹¹.

¹⁰ CARPIET, L. Tech startup's anti-theft GPS is 'LoJack for bicycles'.2015. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

¹¹ BOREL, B. How to Thwart Bicycle Thieves. 2012. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

Figura 2. Tapón superior SpyBike



Fuente: SPYBIKE. top cap tracker. Recopilado en: 23 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/PHkehG>).

Por otro lado, Lesser C. destaca en su artículo las características de las unidades del sistema de posicionamiento global (G.P.S) de consumo para bicicletas, también los servicios proporcionados para ciclistas y antecedentes de MotionBased (una aplicación basada en Internet que maneja datos de G.P.S). Se relaciona la forma en la que una unidad G.P.S puede rastrear velocidad, distancia y elevación en tiempo real, a su vez almacena la ubicación, que luego puede ser referenciada contra una gran cantidad de datos utilizando software de compañías como MotionBased y TrainingPeaks para proporcionar comentarios precisos en forma de un completo registro de capacitación completo con mapas detallados¹².

También la empresa Telit Wireless presenta el desarrollo del dispositivo Yon Bike Lamp que es un rastreador de alta tecnología incrustado en una luz trasera de bicicleta. Se comunica a través de G.S.M / G.P.R.S y S.M.S permitiendo al usuario iniciar sesión a través de un sitio web o desde una aplicación Android o iPhone y obtiene información sobre la bicicleta, incluidas sus estadísticas de conducción. Con el dispositivo, también es posible enviar un SMS al Yon Bike Lamp y, tan pronto como se despierta del modo de suspensión, responde con un enlace web a su ubicación.¹³.

¹² LESSER, C. Tracking Devices Offer Retailers a New Revenue Source. 2015. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

¹³ TELIT WIRELESS. Brazilian Technology Company Announces New Bike Taillight with Embedded Tracking Device. 2010. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

5. DELIMITACIÓN

Al hacer uso del Sistema de Posicionamiento Global se hace frente a posibles escenarios que pueden limitar el correcto funcionamiento del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas, a continuación, se mencionan los factores que pueden degradar la señal del receptor G.P.S y afectar así su precisión.

5.1 LIMITANTES DEL RECEPTOR G.P.S ¹⁴

- Retardos de ionosfera y troposfera: Esto ocurre cuando la señal de satélite disminuye a medida que pasa a través de la atmósfera.
- Multipath de señal: Es cuando la señal G.P.S se refleja en objetos grandes o altos antes de llegar al receptor. Esto aumenta el tiempo de recorrido de la señal, causando errores.
- Errores del reloj del receptor: El sincronizador incorporado del receptor no es igual de preciso como los sincronizadores atómicos de los satélites G.P.S. Por lo tanto, puede tener muy ligeros errores de tiempo.
- Número de satélites visibles: Cuantos más satélites estén enlazados con un receptor G.P.S, mejor es la precisión. Los edificios, el terreno, las interferencias electrónicas pueden bloquear la recepción de la señal, causando errores de posición.
- Efecto multitrayectoria: Es una interferencia que puede darse cuando el receptor está situado cerca de una superficie reflectora, tal como un lago o unas ventanas de grandes proporciones.

¹⁴ CARVALZA. Sistema de Posicionamiento Global. Abril de 2017. Recopilado en: 15 de octubre de 2018.

6. MARCO TEÓRICO

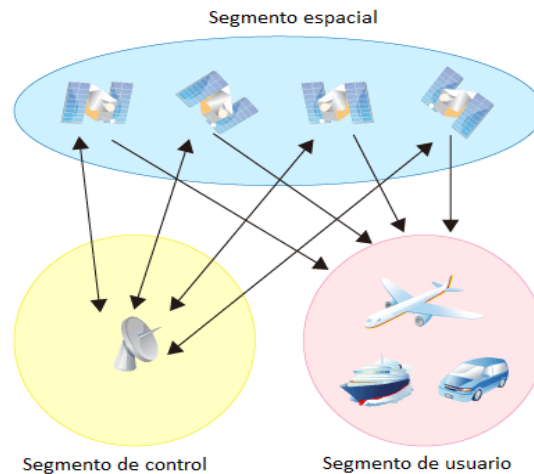
6.1 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (G.P.S)¹⁵.

Es un Sistema Global de Navegación que emplea mediante un satélite (GNSS) determinando la posición de un objeto, una persona o un vehículo, contando con alta precisión incluso inferior a 1 metro usando G.P.S diferencial. Este sistema fue desarrollado, instalado y operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El G.P.S funciona mediante una red de 27 satélites en órbita de la superficie del planeta tierra a una distancia de 20.200 km, con recorridos concordados para envolver todo el planeta.

- **Señales de G.P.S:** Los satélites emiten señales en dos gamas de frecuencias de 1,575.42 MHz y 1,227.60 MHz respectivamente. Codificadas en el código C/A. El código C / A consta de los códigos de identificación de cada satélite y se transmite junto con los mensajes de navegación. Los datos de navegación se transmiten a una velocidad de 50 bits por segundo y usando colección de datos, el receptor GPS calcula la distancia entre los satélites y el receptor para generar datos de posición.
- **Código C / A:** La primera señal de los satélites G.P.S se modula en fase en el código pseudoaleatorio o C/A. El código C / A es una secuencia de señales digitales "1" y "0". En el GPS, 1023 patrones consecutivos comprenden una secuencia y, después, esta serie se repetirá continuamente una tras otra.
- **Estructura del G.P.S:** La estructura básica consta de tres segmentos. El segmento espacial que donde se encuentra la constelación de satélites G.P.S donde se despliegan en seis órbitas alrededor de la Tierra a una distancia de aproximadamente 20,000 km y se desplazan alrededor de la Tierra en intervalos de 12 horas. El Segmento de control desempeñan funciones de monitoreo, control y mantenimiento de la órbita de los satélites para garantizar que la desviación de los satélites de la órbita, así como la sincronización del G.P.S, estén dentro del nivel de tolerancia, este manejo se hace desde la tierra. El Segmento de usuario, estos son los receptores G.P.S donde los satélites emiten una señal de radio que es receptada por las antenas G.P.S de los navegadores, los móviles, los relojes entre otros. Estos segmentos se pueden observar en la Figura 3.

¹⁵ KZGUNEA. Geolokalizazioa, Informatica eta Teknologia berria. 2017. Recopilado en: 15 de octubre de 2018.

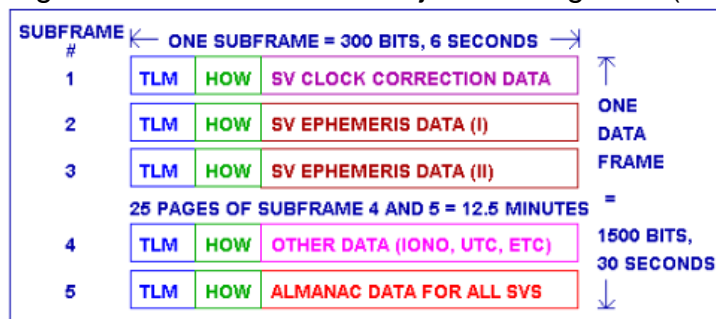
Figura 3. Estructura básica del G.P.S.



Fuente. KZGUNE. Geolokalizazioa, Informatica eta Teknologia berria. 2017. Recopilado en: 15 de octubre de 2018.

- Los datos de navegación en G.P.S contienen 1500 bits de información y se envían en forma constante por cada satélite a una tasa de baudios de 50 bps. Cada dato tarda un período de 30 segundos en transmitirse. Está compuesto de tres componentes principales. La primera parte contiene la hora que es determinada a partir de los relojes atómicos de los satélites G.P.S, con una precisión de 1 microsegundo. La hora G.P.S es la misma para todos los satélites y receptores G.P.S en tierra. La segunda parte contiene información orbital de datos conocida como efemérides y permite al receptor calcular la posición del satélite por medio de coordenadas astronómicas. La tercera parte, que se conoce como almanaque, contiene información sobre la posición del satélite en relación con el resto de los satélites de la constelación (ver figura 4).

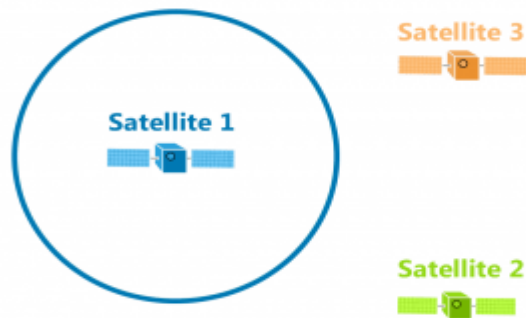
Figura 4. Formato del mensaje de navegación (SV=Space Vehicle).



Fuente: PUNTO FLOTANTE S.A. Funcionamiento del sistema de posicionamiento global GPS. Recopilado en: 2 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/zaBCSB>)

- Funcionamiento del G.P.S¹⁶: El primer satélite emite una señal que gradualmente alcanza a un receptor G.P.S. En el cual se conoce la distancia. Es por eso que esta distancia forma un círculo igual en todas las direcciones, lo que significa que la posición de receptor podría estar en cualquier parte de este círculo en un radio determinado como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Distancia cubierta por satélite 1 en 2D.



Fuente. FRANZ, C. Trilateración vs Triangulación, 2018. Recopilado en: 2 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zPjJew>)

Cuando se recibe la señal de un segundo satélite indica que el receptor G.P.S se encuentra en un punto de la distancia cubierta por él, la posición precisa podría ser cualquiera de los dos puntos donde se intersectan los círculos. Cuando se tiene un tercer satélite, la verdadera ubicación del receptor G.P.S se revela justo donde los tres círculos se cruzan como se muestra en la Figura 6.

¹⁶ FRANZ, C. Trilateración vs Triangulación, 2018. Recopilado en: 3 de noviembre de 2018.

Figura 6. Trilateralización de tres satélites en 2D.



Fuente. FRANZ, C. Trilateración vs Triangulación, 2018. Recopilado en: 2 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zPjJew>)

Los satélites G.P.S emiten señales como una esfera, donde cada satélite está en el centro de esta esfera y el punto de intersección de todas las esferas determina la posición del receptor como ilustra la Figura 7.

Figura 7. Trilateralización satelital de tres satélites en 3D.



Fuente. KISSPNG. Sistemas de navegacion GPS. Recopilado en: 2 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://es.kisspng.com/kisspng-kqvzzg/>)

- **Partes de un G.P.S:** El Sistema de Posicionamiento Global es el incorporado de elementos que permiten determinar la posición, velocidad y tiempo de un objeto, además de los parámetros necesarios adicionales que requiera. Un dispositivo G.P.S consta de una antena con preamplificador, sección de radio frecuencia, micro procesador para reducción, almacenamiento y

procesamiento de datos, oscilador de precisión para la generación de los códigos pseudo aleatorios, fuente de alimentación, interfaz de usuario y memoria de almacenamiento.

- **El D.G.P.S o G.P.S diferencial:** Sistema encargado de suministrar correcciones a los receptores de los satélites G.P.S y así obtener mayor precisión en la posición calculada. Surge como necesidad de mitigar los errores producidos por el G.P.S pues afectan fuertemente a los receptores próximos debido a su correlación. Funciona cuando un receptor G.P.S fijo en tierra, como referencia que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema G.P.S, y logra calcular los errores producidos por el sistema G.P.S, comparándola con la suya, conocida de antemano. Luego receptor envía la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos corrigen los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo de referencia¹⁷.

6.1.1 Receptor G.P.S. Son aquellos que recopilan la información exacta de hora y posición del satélite. Este recibe dos tipos de datos, los datos del Almanaque, una vez el receptor G.P.S tiene la información del último Almanaque recibido y la hora precisa, conocerá dónde debe buscar los satélites en el espacio. La otra serie de datos, son datos precisos únicamente del satélite que está siendo captado por el receptor G.P.S, son parámetros orbitales característicos de ese satélite y se utilizan para calcular la distancia exacta del receptor al satélite. Los receptores G.P.S pueden recibir la señal de más de tres satélites para calcular su posición. Generalmente, cuantas más señales capta, más exacto es el cálculo de posición¹⁸.

6.2 SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES (G.S.M) ¹⁹

G.S.M es una red celular 2G que desempeña funciones de conmutación de llamadas y gestión de movilidad para dispositivos celulares que se encuentran dentro de las áreas efectivas de las estaciones base G.S.M. Esta parte de la red es efectuada por operadores de telefonía móvil y es lo que permite que los teléfonos celulares G.S.M se comuniquen con la PSTN (red telefónica pública conmutada) en ambos sentidos.

¹⁷ GIMÉNEZ RODRÍGUEZ. TAMARA, ROS BERNABEU. MARÍA ELENA. Sistema de posicionamiento global (GPS). 2010. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/gSgG8d>).

¹⁸ EFDEPORTES. El sistema de posicionamiento global y los receptores GPS. Marzo de 1998. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/1ddvmJ>).

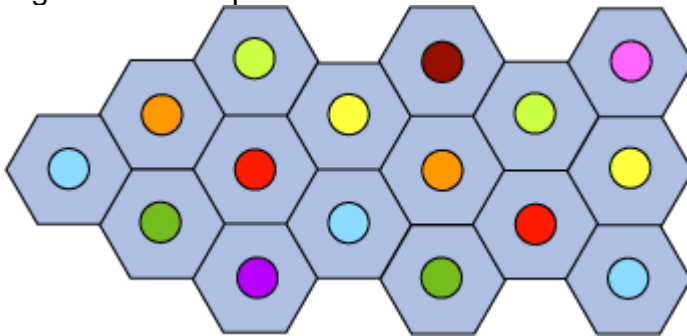
¹⁹ <https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>

El sistema global para comunicaciones móviles (GSM) utiliza una combinación de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de la frecuencia (FDMA).

- Acceso múltiple por división de frecuencia: consiste en dividir una banda de frecuencia en múltiples bandas para que cada banda de frecuencia subdividida tenga asignado un solo suscriptor. FDMA en GSM divide el ancho de banda de 25MHz en 124 frecuencias portadoras separadas por 200 KHz. A cada estación base se le corresponde una o más frecuencias portadoras.
- Acceso Múltiple por División de Tiempo: consiste en asignar el mismo canal de frecuencia a diferentes suscriptores al dividir la banda de frecuencia en múltiples intervalos de tiempo. A cada usuario le corresponde su propio intervalo de tiempo, lo cual permite que varias estaciones compartan el mismo espacio de transmisión.

6.2.1 Red celular²⁰. Las redes de telefonía móvil se centran en la noción de celdas, es decir zonas circulares que se superponen para cubrir un área geográfica (ver figura 8).

Figura 8. Concepto de red celular.



Fuente: Pillou. Jean-François. Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). 2017. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/DhHw36>).

Las redes celulares se fundan usando un transmisor-receptor central en cada celda, la cual es llamada estación base o Estación base transceptora (BTS). Cuanto menor sea el radio de una celda, mayor será el ancho de banda utilizable. Lo que

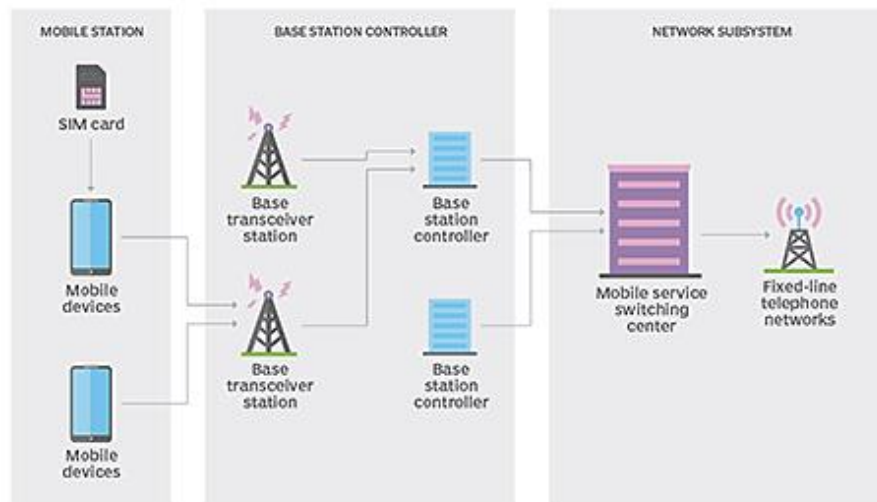
²⁰ PILLOU. JEAN-FRANÇOIS. Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). 2017. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/DhHw36>).

quiere decir es que, en zonas urbanas significativamente pobladas, hay celdas con un radio aproximado de cientos de metros mientras que en zonas rurales hay celdas mayores de hasta 30 kilómetros para proporcionar cobertura.

En una red celular, cada celda está rodeada por 6 celdas contiguas creando la forma hexagonal particular de la célula. Para impedir interferencia, las células contiguas no pueden usar la misma gama de frecuencias. En la práctica, dos celdas que usan el mismo rango de frecuencia deben estar apartadas por una distancia equivalente a dos o tres veces el diámetro de la celda.

- **Arquitectura de la red GSM²¹:** La red GSM se compone de cuatro secciones alejadas que trabajan juntas para funcionar como una unidad, el dispositivo móvil, el subsistema de estación base (BSS), el subsistema de conmutación de red (NSS) y el subsistema de operación y soporte (OSS). El dispositivo móvil se enlaza a la red a través de hardware. La tarjeta del módulo de identidad del suscriptor (SIM) suministra a la red información de identificación sobre el usuario móvil (ver figura 9).

Figura 9. Diagrama de la organización de la red GSM.



Fuente: PILLOU. JEAN-FRANÇOIS. Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). 2017. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/DhHw36>)

²¹ FAIN. PABLO ALEJANDRO. Cómo funciona la red GSM. 30 de mayo de 2009. Recopilado en: 10 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/N99sXd>).

El BSS se encarga del tráfico de información entre el dispositivo celular y el NSS. Consta de dos componentes principales: la estación transceptora base (BTS) y el controlador de estación base (BSC). El BTS contiene el equipo que enlaza los dispositivos móviles, con los receptores y las antenas del transmisor de radio.

En la estación transceptora base (BTS), el sistema es competente de resistir una gran carga de usuarios de la red al mismo tiempo. Si sólo existiera una antena para todos los usuarios se saturaría rápidamente por falta del ancho de banda, la solución es reutilizar las frecuencias disponibles para lo cual se ponen varias antenas que se conocen como las células mencionadas anteriormente, se programa el sistema de manera que cada antena emplee frecuencias distintas a las de sus adyacentes, estas frecuencias solo pueden repetirse entre antenas no contiguas que cumplan con una distancia dada.

El Controlador de Estación Base (BSC) es capaz de detectar si el usuario sale de una celda y entra en otra, y notifica a ambas BTS's y al terminal para el proceso de salto de una BS a otra en lo que se denomina un proceso llamado "handover" o traspaso entre células, una de las tres funciones del BSC, que permite comunicación, aunque el usuario se encuentre en desplazamiento.

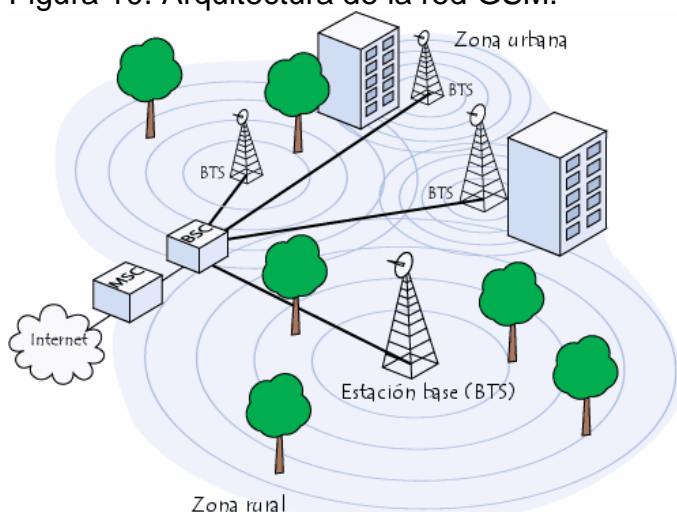
El proceso también puede darse si la estación más cercana al usuario se encuentra saturada, es decir, si todos los canales asignados a la BTS están en uso. En ese caso el BSC remite al terminal a otra estación contigua, menos saturada, incluso aunque el terminal tenga que emitir con más potencia. Por eso es habitual percibir cortes de la comunicación en zonas donde hay muchos usuarios al mismo tiempo

Por último, los controladores de estaciones base están físicamente enlazados al Centro de conmutación móvil (MSC) que los conecta con la red de telefonía pública y con Internet. El MSC pertenece a un Subsistema de conmutación de red (NSS) que gestiona las identidades de los usuarios, su ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios.

Generalmente, el MSC se liga a bases de datos que suministran funciones adicionales, como el Registro de Ubicación de Origen (HLR), una base de datos que domina información de los nodos registrados dentro de la zona del conmutador (MSC); el Registro de ubicación de visitante (VLR), una base de datos que contiene datos de usuarios que no son abonados locales. El VLR recupera los datos de un usuario nuevo del HLR de la zona de abonado del usuario. Los datos se conservan mientras el usuario está dentro de la zona y

se eliminan en cuanto abandona la zona o después de un período de inactividad prolongado; el Registro de identificación del equipo (EIR), una base de datos que contiene la lista de terminales móviles; el Centro de autenticación (AUC), que comprueba las identidades de los usuarios. En la Figura 10 se muestra la arquitectura de la red GSM.

Figura 10. Arquitectura de la red GSM.



Fuente: PILLOU. JEAN-FRANÇOIS. Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). 2017. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/DhHw36>).

- **La Señalización:** Para establecer una comunicación telefónica entre dos teléfonos móviles es necesario implementar unos protocolos de señalización que indican el número discado, así como el destinatario, el momento en el que inicia el mensaje, entre otros. Son todas las indicaciones necesarias para enviar cada cierta cantidad de minutos una ráfaga de señalización, lo que permite al BSC conocer el estado de la línea celular; si se encuentra on-line, es decir si el dispositivo está encendido o si está apagado, si se encuentra aún disponible.²²
- **Tarjeta SIM (Módulo de identidad del suscriptor):** “Una tarjeta SIM contiene: el número telefónico del abonado (MSISDN); el número internacional de abonado (IMSI, Identificación internacional de abonados móviles), el estado de la tarjeta SIM; el código de servicio (operador); la clave

²² JOSÉ JOSKOWICZ. Conceptos Básicos de Telefonía. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2LhEpR7>)

de autenticación; el PIN (Código de identificación personal) y el PUK (Código personal de desbloqueo) estas características le otorgan un identificador único, además de gestionar la seguridad de todas las conexiones móviles y llamadas que se realizan”²³.

- **Frecuencias de operación de la red GSM:** La tecnología GSM opera bajo las frecuencias 850, 900, 1800 y 1900 MHz. El siguiente cuadro, proporcionado por la GSMA (GSM Association), la Figura 11 muestra la distribución y detalles técnicos de estas bandas.

Figura 11. Frecuencias de operación de la red GSM.

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU. , Sudamérica y Asia .
GSM 900	P-GSM 900	1-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
	E-GSM 900	975 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	E-GSM, extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	GSM ferroviario (GSM-R).
GSM 1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM 1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica , incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas

Fuente: CERNA SÁNCHEZ. EDUARDO. Sistemas GSM/GPRS. Recopilado en: 12 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://slideplayer.es/slide/5512621/>).

6.3 MICROCONTROLADOR²⁴

Un microcontrolador es un circuito integrado que almacena una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos, estas partes están comunicadas dentro del microcontrolador como se muestra en la figura 12.

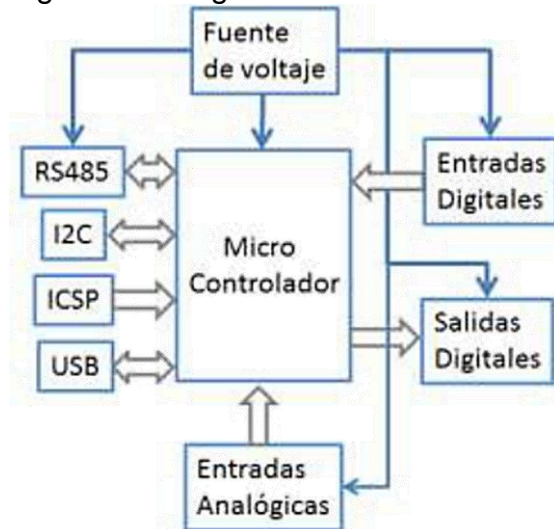
El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le compila, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica en gran cantidad un circuito que sea completamente análogo y mejoran en general el diseño

²³ GEMALTO. Encendiendo las cosas. Recopilado en 11 de diciembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2SFcHzV>).

²⁴ ELECTRONICAESTUDIO.COM. ¿Qué es un microcontrolador? 2018. Recopilado en 27 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/EE6jSJ>).

de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador.

Figura 12. Diagrama interno de un microcontrolador.



Fuente. JORGE VALDEZ. Diagrama de Bloques de un micro. Recopilado en: 12 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zTziSx>)

Las aplicaciones de los microcontroladores son amplias, se puede decir que solo están limitadas por la imaginación del usuario. Es común encontrar microcontroladores en campos como la robótica y el automatismo, en la industria del entretenimiento, en las telecomunicaciones, en la instrumentación, en el hogar, en la industria automotriz, entre otros.

7. MARCO CONCEPTUAL

7.1 MODALIDADES DE HURTO

Para el desarrollo de este trabajo de grado es necesario identificar las diferentes modalidades de hurto de bicicleta empleadas por los delincuentes.

- **Hurto a mano armada.** *“Es un tipo de robo o despojamiento de bienes en el cual el autor del delito causa la violencia, intimidación o afección física en la víctima mediante la utilización de armas, ya sea un arma blanca o un arma de fuego”²⁵.*

En Colombia el hurto a mano armada es considerado un tipo de robo calificado tomando como referencia el código penal ley 599 del año 2000²⁶, en donde:

“Se considera hurto calificado si se cometiere:

- 1. Con violencia sobre las cosas.*
- 2. Colocando a la víctima en condiciones de indefensión o inferioridad o aprovechándose de tales condiciones.*
- 3. Con escalamiento, o con llave sustraída o falsa, ganzúa o cualquier otro instrumento similar, o violando o superando seguridades electrónicas u otras semejantes.*

La pena será de prisión de ocho (8) a dieciséis (16) años cuando se cometiere con violencia sobre las personas.

Las mismas penas se aplicarán cuando la violencia tenga lugar inmediatamente después del apoderamiento de la cosa y haya sido empleada por el autor o partícipe con el fin de asegurar su producto o la impunidad.”

- **Ruptura de guayas o candados.** Este tipo de robo demanda un elemento de apoyo que permita la ruptura del candado o el corte del cable de la guaya, en ambos casos el delincuente está dispuesto con la herramienta que pueda solicitar. Si es un candado de tamaño pequeño es sencillo abrirlo con dos llaves inglesas haciendo un palanqueo de forma que se ejerza una presión que pretende unir las llaves en el extremo sujetado como se muestra en la Figura 13.

²⁵ MURPHY. PATRICK J. Robo a mano armada. 2018. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/Y5EzAW>).

²⁶ SALUDCAPITAL. Código penal (Ley 599 de 2000). Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zWwSCu>).

Figura 13. Uso de llaves inglesas para abrir candados.



Fuente: BURBUJA VIRAL. Uso de llaves inglesas para abrir candados. 2018. Recopilado en: 17 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/Bmniq8>).

El otro elemento frecuentemente empleado es la cizalla manual, que es bastante similar a una tijera, pero difieren en su tamaño y por la fuerza que puede ejercer para cortar diferentes materiales resistentes entre los cuales están los candados de seguridad, guayas reforzadas y cadenas de hierro de hasta 3/4. Entre mayor es su tamaño mayor es a densidad de material que puede romper.

- **Técnica milenaria.** La técnica milenaria consiste en el hurto de bicicleta que usa la vulnerabilidad del propietario de la bicicleta. Un “ciclista profesional” en una bicicleta de alta gama aborda a un bici usuario común hablándole de patrocinios a buenos ciclistas, otros les piden a los bici usuarios que den una vuelta y registran su tiempo, también pueden decir que están cerca de empezar un viaje en bicicleta, es decir, todo lo que sea necesario para llamar su atención, finalmente le dice que le darán una camiseta que irán a recoger y al llegar al otro punto aparece un segundo actor encargado de elogiar aún más la bicicleta del bici usuario, hasta que le pregunta si puede probarla y le pide sostener su maleta o canguro (dando una señal de garantía), pasado un rato el “ciclista profesional” le dice al bici usuario que irá en busca de su primo y jamás regresan.

La técnica milenaria se considera una circunstancia de agravación punitiva según el artículo 241 de la ley 599 del año 2000²⁷ en donde:

²⁷ Ibíd. p. 75

“La pena imponible de acuerdo con los artículos anteriores se aumentará de una sexta parte a la mitad si la conducta se cometiere:

1. *Aprovechando calamidad, infortunio o peligro común.*
2. *Aprovechando la confianza depositada por el dueño, poseedor o tenedor de la cosa en el agente.*
3. *Valiéndose de la actividad de inimputable.*
4. *Por persona disfrazada, o aduciendo calidad supuesta, o simulando autoridad o invocando falsa orden de la misma.”*





7.2 TIPOS DE BICICLETA

Es acertado mencionar en este trabajo de grado los tipos de bicicletas existentes en el mercado para tener en cuenta parámetros del diseño del sistema antirrobo.

Los diseños de las bicicletas están fundamentados en su funcionalidad dependiendo el tipo de terreno, máxima velocidad, menor peso o mayor fortaleza, entre otros dentro de este rango. A continuación, en la Tabla 1, se muestran los tipos de bicicletas más usados en la ciudad de Bogotá y sus características.

Tabla 1. Tipos de bicicletas y sus características.

BICICLETA	TIPOS Y CARACTERISTICAS
<p>Figura 14. Bicicleta MTB full-suspensión.</p> 	<p>Bicicletas de montaña</p> <p>Son bicicletas equipadas con llantas anchas, marco robusto, manubrio recto y alto. Diseñadas para terrenos inestables y soportar impactos.</p>
<p>Figura 15. Bicicleta de ruta con manubrio drop-bar.</p> 	<p>Bicicletas de ruta</p> <p>Poseen un marco delgado, llantas angostas, coraza lisa y un manubrio drop-bar que permite diferentes posturas. Se caracteriza por ser una bicicleta ligera y veloz ideal para recorrer grandes distancias.</p>

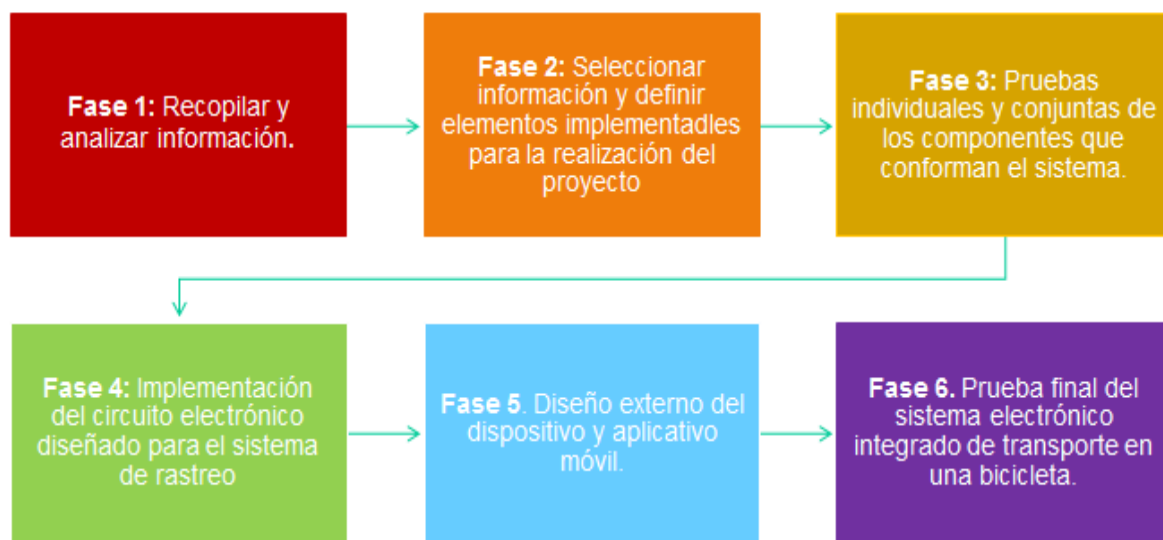
<p>Figura 16. Bicicleta híbrida.</p> 	<p>Bicicletas Híbridas</p> <p>Las bicicletas híbridas son versátiles ya que cuentan con peculiaridades de las bicicletas de montaña y de las de ruta. Sus mecanismos son livianos pero de alta resistencia, las llantas son de un ancho intermedio.</p>
<p>Figura 17. Bicicleta urbana.</p> 	<p>Bicicletas urbanas</p> <p>Son de marco pesado, llantas de talla intermedia, cuentan con guardabarros, una parrilla o canasta. Son de construcción bastante sólida tanto en su marco como en sus ruedas. Están adecuadas para soportar las condiciones de una ciudad.</p>
<p>Figura 18. Bicicleta plegable.</p> 	<p>Bicicletas plegables</p> <p>Son bastante livianas, reducen hasta en un 80% su tamaño por medio de pliegues, tienen llantas pequeñas, y un plato considerablemente grande.</p>
<p>Figura 19. Bicicleta Fixie.</p> 	<p>Bicicletas Fixie</p> <p>Equipadas con una sola velocidad, tienen un marco delgado, llantas angostas y piñón fijo, es decir, frenan contrarrestando la fuerza del movimiento con los pedales.</p>

Fuente. LABICICLETA.INFO. Tipos de bicicleta. 2017. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://labicicleta.info/tipos-de-bicicleta/>).

8. METODOLOGÍA

A continuación, se ilustra en la Figura 20 la metodología a seguir dividida en seis fases de desarrollo e implementación en las cuales se abarca el desarrollo del sistema electrónico integrado de seguridad para bicicletas.

Figura 20. Diagrama de bloques metodología del trabajo de grado.



Fuente: Autor

8.1 RECOPIACION DE INFORMACION

La recopilación de información comprende las fases 1 y 2 las actividades que se realizaron fueron:

1. Hacer la revisión y análisis del estado del arte referente a dispositivos empleados en la seguridad de bicicletas.
2. Realizar la selección de los elementos más acordes que para la realización del trabajo de grado.

8.2 PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS GENERALES

La fase 3 comprende las pruebas individuales pertinentes que requieren los módulos y demás componentes a usar con el fin de garantizar su correcto

funcionamiento:

- Verificación y filtrado de señales detectadas por el receptor G.P.S, por medio de un microcontrolador para el procesamiento y verificación de la información.
- Envío y recepción de mensajes desde el módulo SIM.
- Código de línea que permitió el envío de la localización por G.P.S a un usuario por medio de un mensaje de texto.
- Diseño y pruebas de reguladores de voltaje para alimentar cada módulo que requirió un voltaje de trabajo específico.

8.3 IMPLEMENTACIÓN

En la etapa de implementación se encuentran las fases 4 y 5. Las actividades a realizar son:

- Implementación del circuito diseñado para el sistema de rastreo en una PCB previamente diseñada.
- Realizar el diseño externo que poseerá el dispositivo donde su función principal es prender una luz led.
- Hacer el desarrollo de un aplicativo móvil que permita la observación de la ubicación satelital de la bicicleta en cualquier momento que el usuario desee.

8.4 VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

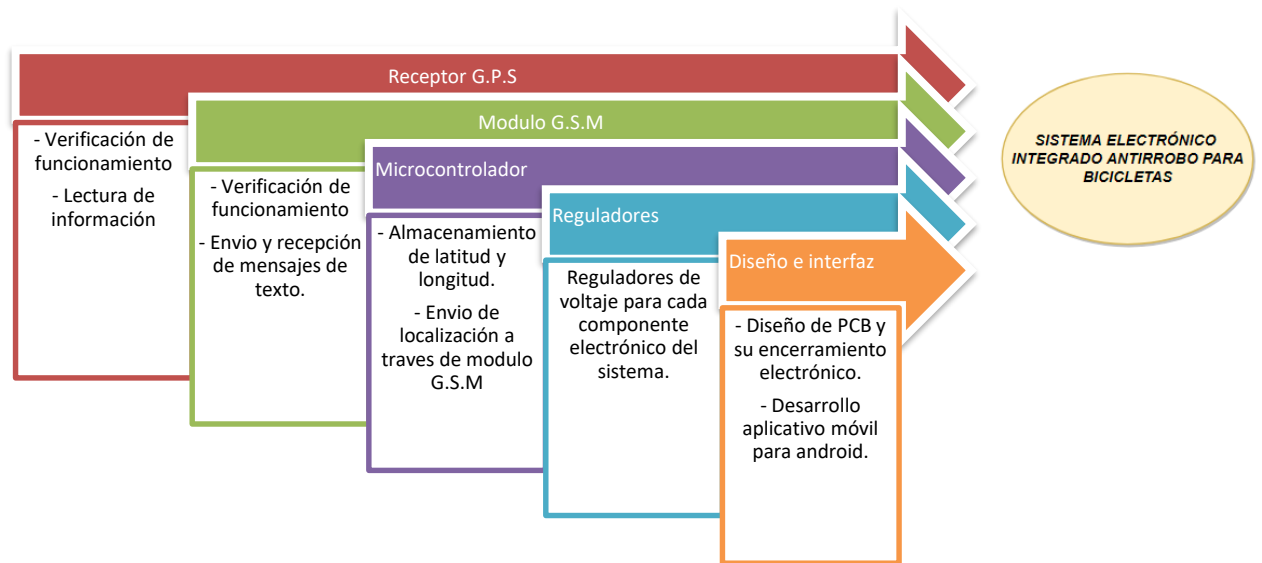
Por último, en la fase 6 comprende la prueba final que consta de dos actividades principales:

- Verificar el correcto funcionamiento en conjunto del dispositivo y la aplicación móvil.
- Ensamblar el sistema electrónico antirrobo en una bicicleta.

9. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo las fases planteadas anteriormente se propone el modelo relacionado con el proceso metodológico que permite la estructuración del sistema electrónico. La figura 21 muestra el diseño metodológico planteado para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

Figura 21. Diseño metodológico del trabajo de grado.



Fuente: Autor

A continuación, se presentan algunos parámetros a tener en cuenta en las dos primeras etapas de desarrollo comprendidas por el receptor G.P.S y el modulo G.S.M.

9.1 SEÑALES DEL MODULO G.P.S AL MICROCONTROLADOR

A continuación, en la Tabla 2 se presentan las señales de radio satelitales que se albergan una trama TXS, las cuales son procesadas por el modulo G.P.S y enviadas al microcontrolador para ser filtradas.

Tabla 2. Secuencia de datos procesadas por el receptor G.P.S.

hhmmss.ss	Hora UTC
A	Estado receptor (A = OK, V = warning)
llll.ll,a	Latitud (a = N o S)
yyyy.yy,a	Longitud (a = E o W)
x.x	Velocidad en nudos in knots
x.x	Curso en grados
ddmmyy	Fecha UT
x.x,a	Variacion magnética en grados (a = E o W)
*hh	Checksum

Fuente: Autor.

9.1 PROCESAMIENTO DE TRAMA

En la Tabla 3 se presenta la trama mencionada en la figura 21 donde el microcontrolador se encarga de filtrar la información recibida en la trama y almacenar la latitud y longitud.

Tabla 3. Secuencia de datos filtradas por el microcontrolador.

225446	Hora 22:54:46 UTC
A	Estado receptor A = OK
4916.45,N	Latitud 49° 16.45 min Norte
12311.12,W	Longitud 123°11.12 min Oeste
000.5	Velocidad 0.5 nudos
054.7	Curso 54.7°
191194	Fecha 19 Noviembre 1994
020.3,E	Variación magnética 20.3° East
*68	Checksum

Fuente: Autor.

9.2 COMANDOS DEL MICROCONTROLADOR AL MODULO G.S.M

Se presentan los comandos AT en la Tabla 4 que pueden ser enviados desde el microcontrolador al módulo G.S.M, se encuentran además los comandos usados para validar el estado del módulo GSM y configurar la recepción y envío de mensajes de texto.

Tabla 4. Comandos AT para modulo G.S.M

AT	Comprobar el estado del módulo.
AT+CPIN="XXXX"	Introducir el PIN de la SIM. Cambiar XXXX por el PIN.
AT+CREG?	Comprobar la conexión a la red.
ATDXXXXXXXX;	Realiza una llamada. Sustituir XXXXXXXXXX por el nº al que se va a llamar.
ATA	Descuelga una llamada.
ATH	Finaliza la llamada.
AT+CMGF=1	Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes. Devuelve ">" como inductor.
AT+CMGS="XXXXXXXXXX"	Nº al sé que va a enviar el mensaje.
AT+CLIP=1	Activación de identificador de llamada.

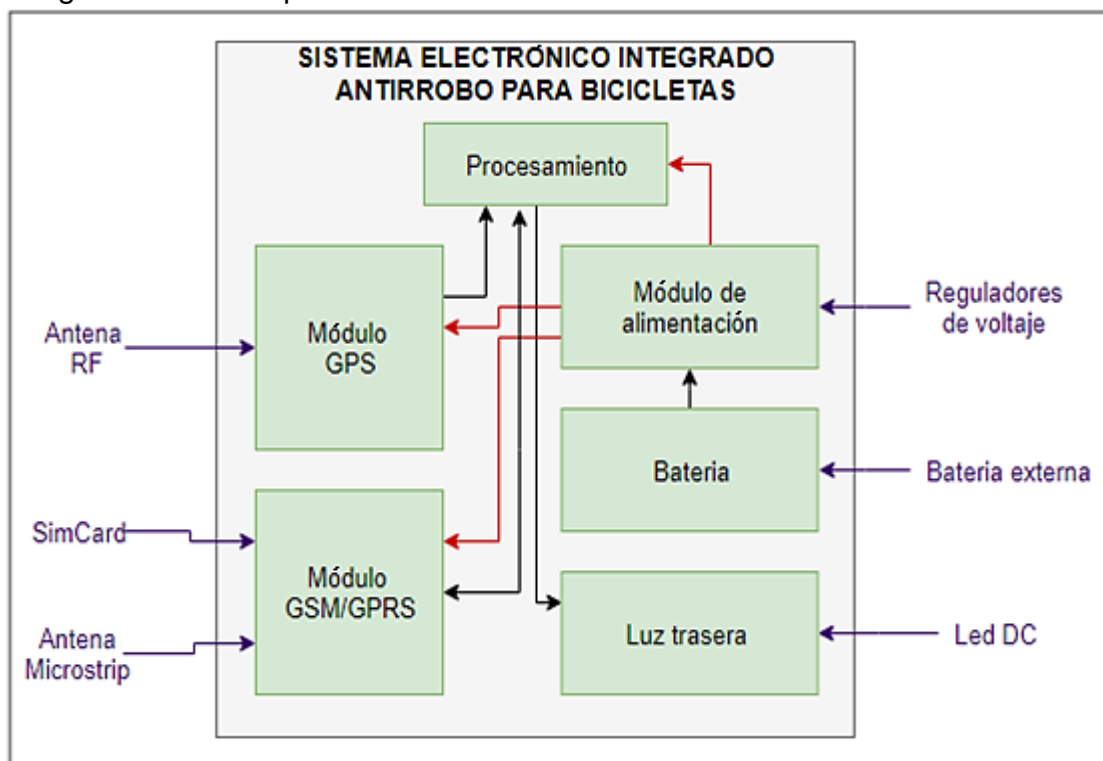
Fuente. Autor

10. DISEÑO DE CIRCUITO IMPRESO

10.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO

Para la descripción detallada del sistema, se toma como punto de partida el diagrama general del funcionamiento de la PCB del prototipo. En este, se identifican seis módulos o bloques funcionales que garantizan el correcto funcionamiento del dispositivo. La Figura 22 muestra el diagrama de bloques generales del prototipo.

Figura 22. Diagrama de Bloques Generales del prototipo del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.



Fuente. Elaboración Propia

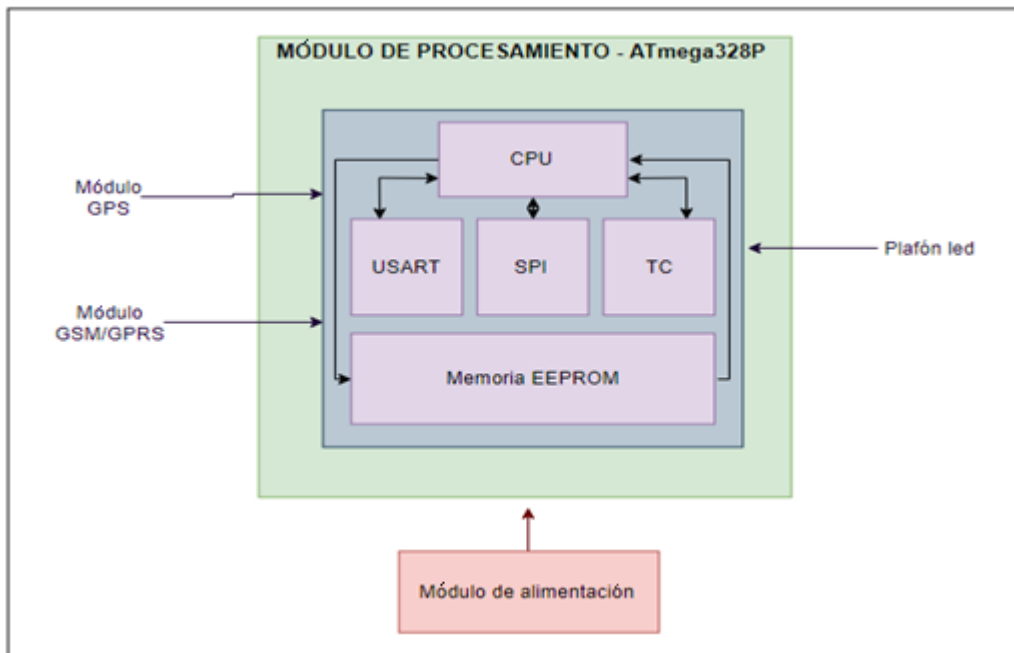
10.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA

Partiendo del diagrama presentado en la Figura 22, se realiza una descripción detallada de cada uno de los módulos que componen el prototipo.

10.2.1 Módulo de procesamiento – Atmega328P. Este módulo comprende la unidad de control principal del prototipo que se muestra en la Figura 23, se encarga

de procesar todas las señales de los otros módulos, entradas, salidas y toma de decisiones con respecto a dichas señales: La señal enviada por el modulo GPS es procesada, filtrada y almacenada temporalmente obteniendo variables como latitud, altitud, longitud, fecha, hora, numero de satélites conectados entre otros. El módulo de procesamiento establece una comunicación bidireccional por medio de la cual envía con comandos AT que permiten realizar las configuraciones necesarias para el envío, recepción de mensajes y las verificaciones de estado del módulo GSM/GPRS SIM800I.

Figura 23. Diagrama de Bloques detallados del módulo de procesamiento ATmega328P.



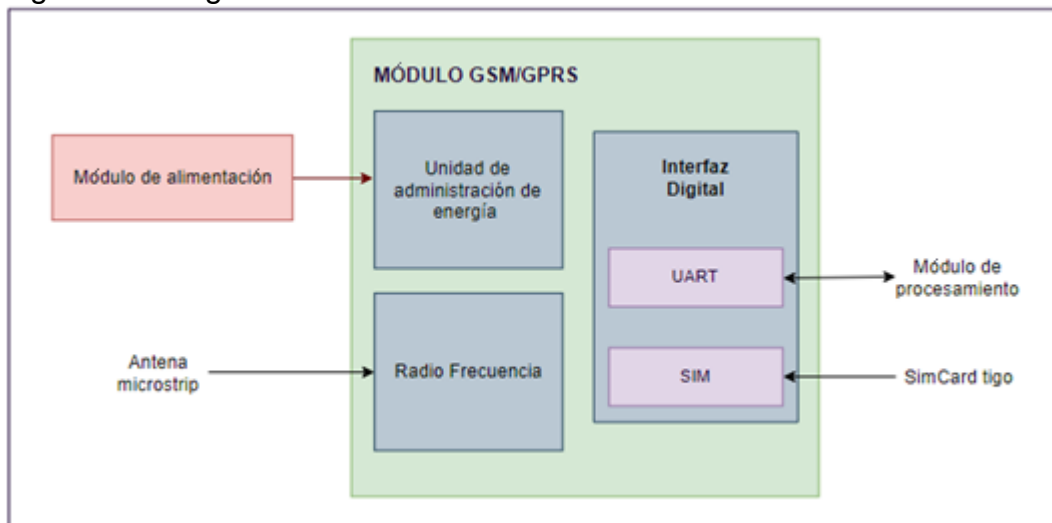
Fuente. Autor

10.2.2 Módulo G.S.M/G.P.R.S – SIM800I. Este módulo es el encargado de establecer la comunicación bidireccional con el usuario por medio del sistema global para las comunicaciones móviles (G.S.M). Se divide tres subsistemas cada uno de los cuales se encarga específicamente de una tarea. En la Figura 24 se muestra el diagrama de bloques detallado de este módulo.

- Unidad de administración de energía. Esta unidad tiene la función de controlar la alimentación del módulo, se requiere de un voltaje de 4V y un pico de corriente de 0.8A de los cuales se encarga el módulo de alimentación que va conectado al módulo SIM800I en los puertos VCC y tierra.

- **Radio Frecuencia.** Este subsistema integra el filtrado necesario para trabajar en la banda de 850MHz y los conectores necesarios para integrar la antena, en este caso se hace uso de una antena microstrip que tiene un rango de operación entre 780 y 960 MHz, una impedancia de 50 Ohm y se dispone de un conector I-Pex hembra que permite una óptima conexión con el módulo SIM800I.
- **Interfaz Digital.** En este subsistema se hace uso de los puertos UART que permiten la transmisión y recepción de señales con el módulo de procesamiento, por medio de este puerto serial se envían los mensajes que son recibidos por el modulo hacia el microcontrolador, a su vez se ejecutan las acciones que requiera el módulo de procesamiento como el envío de una información a un número específico, la eliminación de mensajes alojados en la memoria de la SimCard.

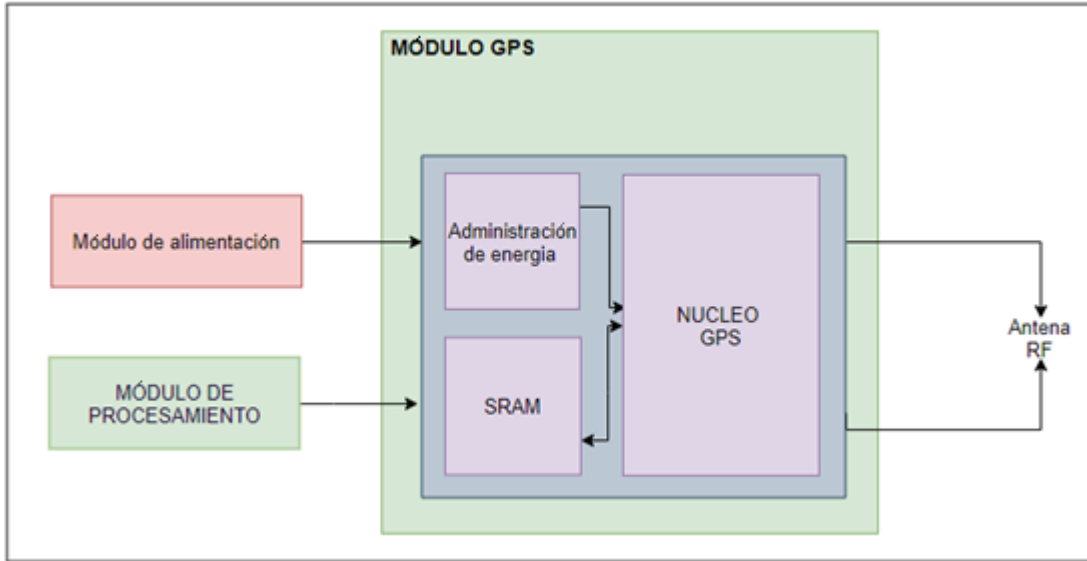
Figura 24. Diagrama interno del módulo G.S.M/G.P.R.S.



Fuente: Autor.

10.2.3 Modulo GPS – Neo 6M. Este módulo es el encargado de recibir y procesar las señales satelitales, una vez energizado el modulo G.P.S se requiere un tiempo de espera para el establecimiento de la conexión satelital, al establecerse el modulo empieza a recibir señales cada segundo, las cuales son procesadas y enviadas al módulo de procesamiento. En la figura 25 se ilustra el diagrama interno del módulo G.P.S.

Figura 25. Diagrama interno del módulo G.P.S.

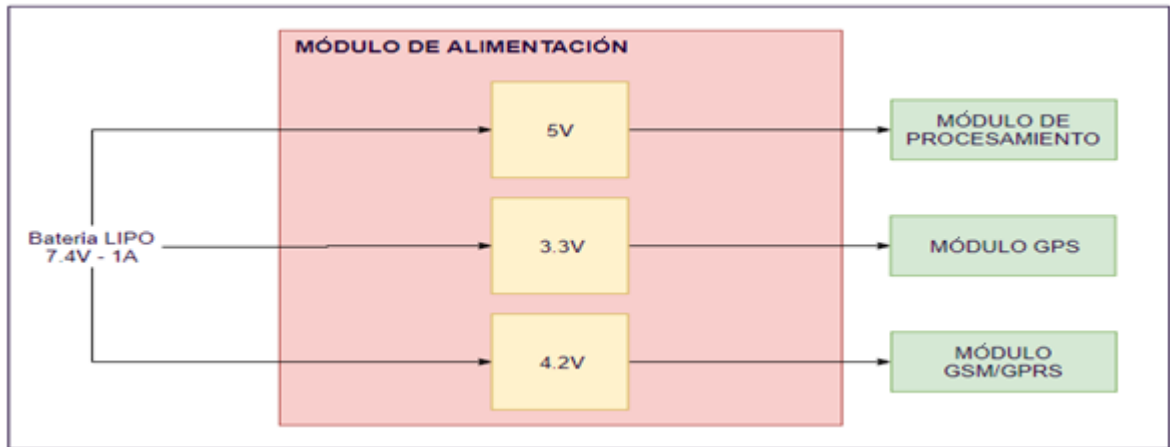


Fuente: Autor

10.2.4 Módulo de alimentación. La función principal de este módulo es la alimentación independiente del módulo de procesamiento, el módulo G.P.S y el módulo G.S.M/G.P.R.S. Para llevar a cabo la alimentación de dichos módulos se requiere la regulación de voltaje de una batería de polímero de litio de 7.4V en tres etapas distintas. En la Figura 26 se muestra el diagrama de bloques detallado de este módulo.

- 6V a 5V: Regulación de voltaje requerida para alimentar el microcontrolador.
- 6V a 3.3V: Regulación de voltaje requerida para alimentar el modulo G.P.S.
- 6V a 4V: Regulación de voltaje requerida para alimentar el módulo GSM/GPRS.

Figura 26. Diagrama de bloques detallado del módulo de alimentación.



Fuente: Autor.

11. DESCRIPCION DE COMPONENTES

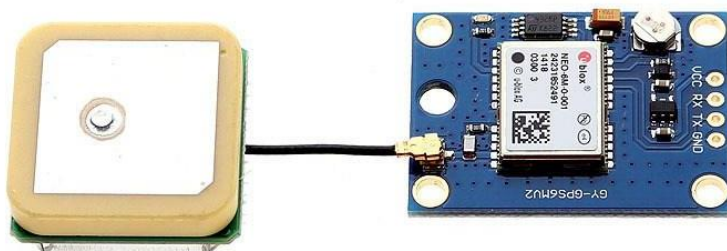
11.1 GENERAL

A continuación, se presenta una descripción de cada uno de los componentes necesarios para el sistema integrado electrónico antirrobo para bicicletas. Para implementar el sistema de seguridad en bicicletas es necesario integrar varios recursos que permiten un resultado satisfactorio y completo. Para esto uno de los factores primordiales es buscar una manera rápida y eficiente de localizar una bicicleta ya sea en movimiento o en reposo. Teniendo en cuenta que el sistema más adecuado para tener un óptimo desempeño en el dispositivo de rastreo es el sistema de posicionamiento global (GPS), es necesario un receptor GPS.

11.2 RECEPTOR G.P.S

Es un módulo con sistema de posicionamiento global para Arduino Nano y microcontroladores, basado en el receptor de la marca Ublox modelo NEO 6M, el módulo requiere de una antena de cerámica que se coloca directamente sobre el PCB. A continuación, se ilustra el modulo en la Figura 27 y se mencionan sus características²⁸.

Figura 27. Modulo G.P.S Neo 6-M.



Fuente: MECHATRONIC STORE. Modulo GPS GY-NEO6MV2 ublox. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/dHaoFC>).

- Modulo G.P.S Ublox NEO-6M
- Comunicación serial
- Voltaje de alimentación: (3.5 – 5)VDC
- Antena cerámica activa incluida

²⁸ MECHATRONIC STORE. Modulo GPS GY-NEO6MV2 ublox. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/dHaoFC>).

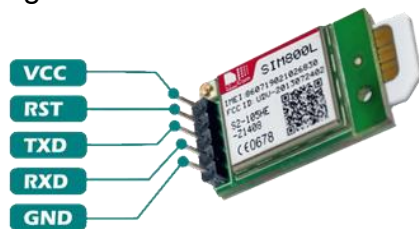
- LED indicador de señal
- Tamaño de antena 22x22mm
- Tamaño de módulo 23x30mm
- BAUDRATE: 9600 bps
- EEPROM para guardar configuración de parámetros
- Sistema de coordenadas: WGS-84
- Sensibilidad de captura -148dBm
- Sensibilidad de rastreo: -161 dBm
- Máxima altura medible: 18000 kms
- Máxima velocidad 515 m/s
- Exactitud: 1 micro segundo
- Frecuencia receptora: L1 (1575.42 MHz)
- Código C/A 1.023 MHz
- Tiempo de inicio primera vez: 38 segundos en promedio
- Tiempo de inicio: 35 segundos en promedio

Teniendo en cuenta que se quiere implementar un dispositivo accesible y eficiente para todo tipo de usuario, se requiere hacer uso de una tecnología capaz de transmitir la información recibida por el GPS al usuario a un costo mínimo, para ello se hará uso de la red GSM usando un módulo GSM.

11.3 MODULO G.S.M SIM800L²⁹

El módulo SIM800L es un módulo G.S.M/G.P.R.S Quad-Band que trabaja con frecuencias de 850/900/1800/1900 MHz, utiliza chip SIMCom SIM800L y para controlar el modulo se pueden instalar la librería TinyGSM o configurarlo por medio de comandos AT. A continuación, se muestra en la Figura 28 mencionan sus características.

Figura 28. Módulo SIM800L.



Fuente: YOROBOTICS. Modulo Celular GSM. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2UAgzUJ>)

²⁹ MINITRONICA. Enviando SMS con Arduino y SIM800L. Recopilado en: 25 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/scsnf2>).

- Voltaje de Operación: 3.4V ~ 4.4V DC
- Nivel Lógico de 3V a 5V
- Consumo de corriente (max): 500 mA
- Consumo de corriente (sleep): 0.7 mA
- Interfaz: Serial UART
- Quad-band 850/900/1800/1900MHz
- Trabaja solo con tecnología 2G
- Enviar y recibir mensajes SMS
- Enviar y recibir datos GPRS (TCP/IP, http, etc)
- Receptor FM
- Controlado por Comandos AT (3GPP TS 27.007, 27.005 y SIMCOM enhanced AT Commands)
- Interfaz de comandos AT con detección automática de velocidad de transmisión
- Soporta A-GPS
- Datos GPRS: Soporta Reloj en tiempo real (RTC)
- Velocidad máxima de transmisión 85.6 Kbps
- Protocolo TCP/IP en chip
- Codificación: CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4
- Soporta USSD
- Velocidades de transmisión serial desde 1200 bps hasta 115200 bps
- Tamaño de la SIM: Micro SIM

Para la utilización de un receptor G.P.S y del módulo SIM es necesario un tercer actor que se encargara de trabajar en conjunto con ambos módulos, el microcontrolador. A continuación, se muestra la función y características del microcontrolador escogido.

11.4 TARJETA ARDUINO NANO.

El Arduino Nano es una pequeña tarjeta basada en el ATmega328. Posee entradas análogas y digitales, puertos seriales, memoria RAM, CPU y memoria ROM. Su funcionalidad es ejecutar una labor determinada que se elabora por medio de un programa. Sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 5 y se ilustra la tarjeta en la Figura 29.

Tabla 5. Especificaciones técnicas tarjeta Arduino Nano.

Arquitectura	AVR
Tensión de funcionamiento	5 V
Memoria flash	32 KB de los cuales 2 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Analog IN Pins	8
EEPROM	1 KB
Corriente DC por pernos de E / S	40 mA (pernos de E / S)
Voltaje de entrada	5-12 V
Pernos de E / S digitales	22 (6 de los cuales son PWM)
Salida PWM	6
El consumo de energía	19 mA
Tamaño de PCB	18 x 45 mm
Peso	7 g

Fuente: Autor.

Figura 29. Tarjeta Arduino Nano



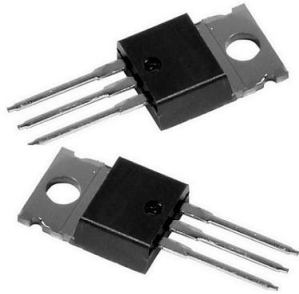
Fuente: MACTRONICA. Arduino Nano con conversor USB FT232RL. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/PbugxX>).

En general todos los componentes electrónicos son diseñados con un voltaje de trabajo determinado, es necesario hacer uso de reguladores de voltaje que permitan energizar todo el circuito con una única alimentación.

11.5 REGULADOR DE VOLTAJE

También llamado estabilizador de voltaje o acondicionador de voltaje, es un circuito integrado como el que se muestra en la Figura 30, que acepta una tensión de voltaje variable a la entrada, dentro de un parámetro predeterminado se encarga de reducir el rizado y mantener a la salida una tensión constante(regulada).³⁰

Figura 30. Regulador de Voltaje.



Fuente: ELECTRÓNICA Z&C. Regulador de voltaje LM-7905 integrado TO-220. Recopilado en: 20 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/xFJV4a>).

11.6 BATERÍA RECARGABLE POLÍMERO DE LITIO

Una batería de polímero de litio es un acumulador de energía recargable que se caracteriza por utilizar como electrolito un polímero semisólido de alta conductividad en lugar de electrolito líquido, lo que permite construir baterías mucho más planas, livianas, de pequeño tamaño y formas variadas. Las propiedades de las baterías de polímero de litio las hacen ideales para ser utilizadas en aparatos pequeños que disponen de poco espacio en su interior³¹. La Figura 31 muestra una batería de litio de 3.7V – 1A.

³⁰ ELECTRÓNICA Z&C. Regulador de voltaje LM-7905 integrado TO-220. Recopilado en: 20 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/xFJV4a>).

³¹ GUIASPRATICAS.COM. Baterías de polímero de litio. 25 de mayo de 2017. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/MtrzcX>).

Figura 31. Batería de Litio.



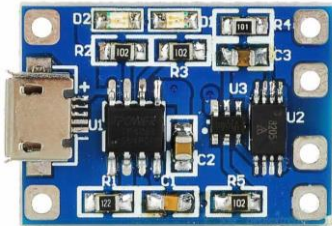
Fuente: ALIBABA. Bateria de litio 3.7 V. Recopilado en: 20 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zQNR9d>).

11.7 MODULO DE CARGA PARA BATERÍA

Es una tarjeta de carga, que permite recargar las baterías de litio mediante una fuente de poder o un cable USB. A continuación, se muestran sus características (véase Figura 32)³².

- Circuito de carga: TP4056
- Modo de carga: Lineal
- Capacidad de carga máxima: 1A
- Precisión de carga: 1.5%
- Voltaje de entrada: 4.5-5.5V
- Voltaje de carga: 4.2V
- Indicadores LED
- Interfaz: MiniUSB
- Temperatura de operación: -10°C a 85°C
- Tamaño: 25x19x10mm

Figura 32. Modulo para carga de la batería.



Fuente: ALIEXPRESS. Módulo TP4056 cargador de batería de litio. Recopilado en: 20 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2QqsmXs>).

³² HETPRO. Modulo cargador de batería de litio 5V 1A MINI USB. 2018. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/zj5rnR>).

11.8 MATERIALES

- Tarjeta Arduino Nano
- Módulo GSM/GPRS SIM800L
- Modulo GPS Neo-6M
- Batería polímero de litio 7.4V
- 3 Reguladores de voltaje
- Módulo de carga
- Fibra de vidrio (FR4)
- Conectores
- Condensadores
- Resistencias
- Interruptor

12.IMPLEMENTACIÓN

Se presentan todos los procedimientos y pruebas explicadas previamente las cuales se llevaron a cabo para realizar el prototipo inicial del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.

12.1 PROCEDIMIENTOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

12.1.1 Prueba del módulo GPS Neo-6M. Inicialmente se trabajó con el módulo G.P.S, para entender su arquitectura y configuración se investigó el datasheet de modulo G.P.S Neo-6M.

El primer paso a seguir fue verificar si encendía, el módulo tiene un voltaje de operación en un rango de 3V-3.6V fue alimentado con 3 VDC obtenidos de una fuente regulada por corriente. Posteriormente se verifico que estuviera recibiendo y procesando las señales satelitales haciendo una lectura del puerto serial (UART) del módulo a través de la tarjeta Arduino Nano, se realizaron las conexiones que se muestran en la Tabla 6.

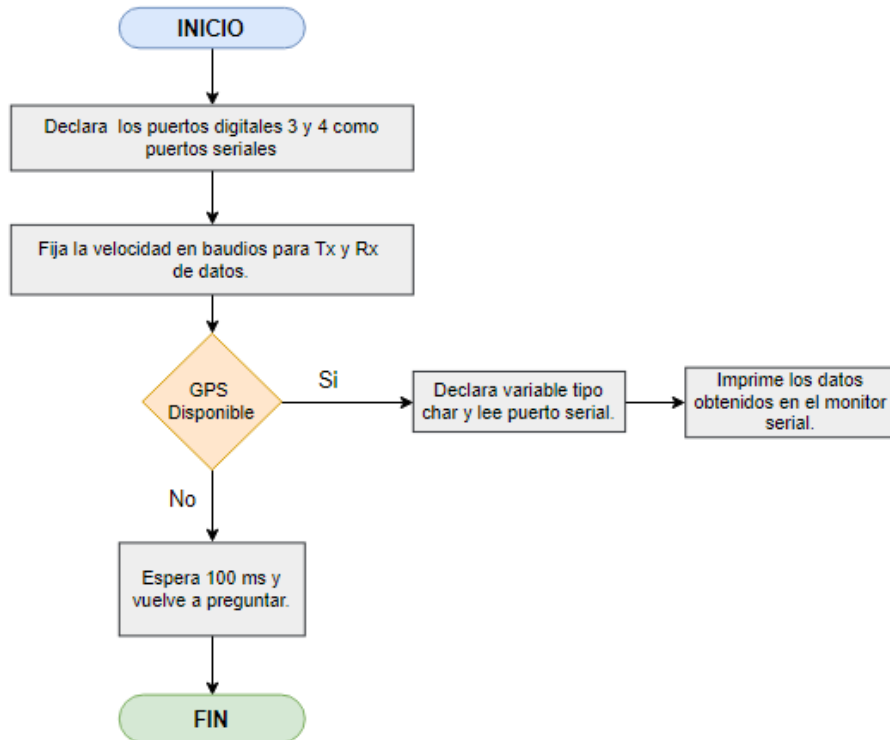
Tabla 6. Conexión modulo GPS Neo-6M y tarjeta Arduino Nano.

	Arduino Nano	GPS Neo-6M
Vcc	5v (USB port)	3.3 VDC
Rx	D4	Tx
Tx	D3	Rx
GND	GND	GND

Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar la lectura de la comunicación serial se requiere de la implementación de un código en el software Arduino IDE que permite la compilación del programa en la tarjeta Arduino Nano. El código fuente usado para la lectura de las señales satelitales se puede observar en el anexo 1. En la Figura 33 se presenta un diagrama de flujo que permite conocer el funcionamiento del código implementado.

Figura 33. Diagrama de flujo comunicación serial tarjeta Arduino Nano.



Fuente: Autor.

Se empleó la librería SoftwareSerial.h para configurar los pines digitales 3 y 4 como Tx y Rx respectivamente. A continuación, la Figura 34 muestra los datos obtenidos por el modulo una vez es establecida la conexión.

Figura 34. Monitor serial COM 9.

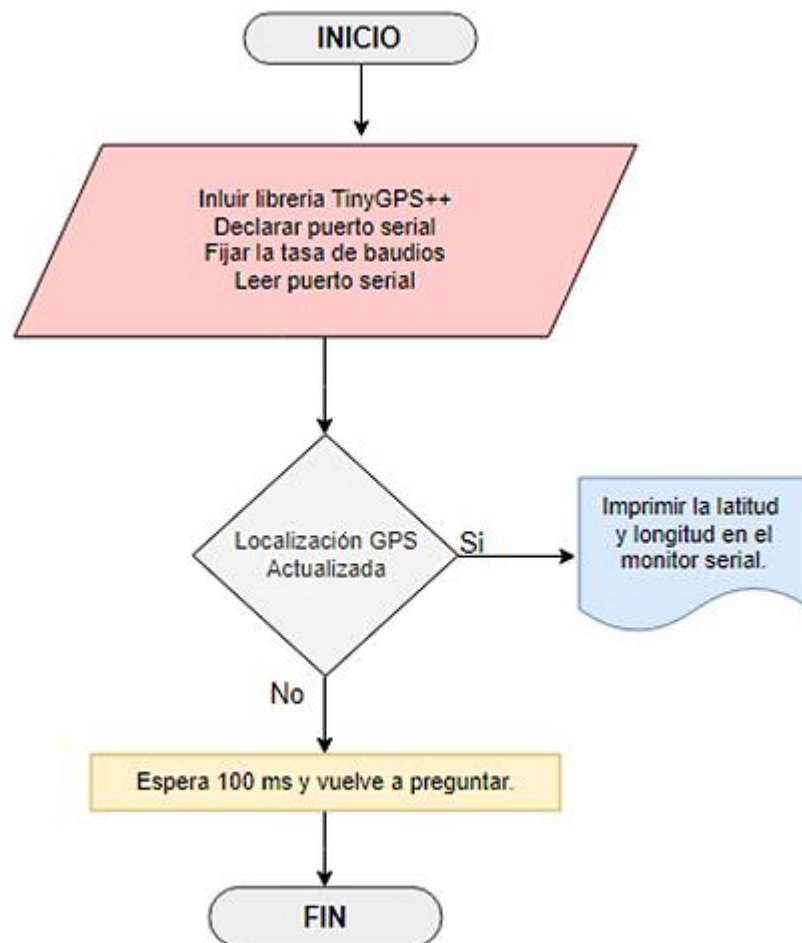
```

$GNZDA,015302.000,29,10,2018,00,00*4C
$GPTXT,01,01,01,ANTENNA OK*35
$GNGGA,015303.000,0443.3760,N,07407.2505,W,1,09,0.9,2573.7,M,0.0,M,,*57
$GNGLL,0443.3760,N,07407.2505,W,015303.000,A,*56
$GPGSA,A,3,18,32,31,08,16,27,26,14,22,,,1.9,0.9,1.6*35
$BDGSA,A,3,,,,,,,,,,,,,1.9,0.9,1.6*25
$GPGSV,3,1,11,03,26,298,,08,22,196,29,10,09,155,,14,54,083,28*7E
$GPGSV,3,2,11,16,65,319,17,18,10,217,27,22,38,278,23,26,46,004,23*7C
$GPGSV,3,3,11,27,45,171,28,31,21,034,26,32,40,114,28*49
$BDGSV,1,1,00*68
  
```

Fuente: Autor.

Como se observa, no es posible determinar en una primera instancia la localización actual del receptor GPS ya que los datos recibidos siguen el protocolo NMEA (National Marine Electronics Association), las cuales son sentencias estándares para la recepción de datos GPS que contienen la estructura que se observa en la figura anterior. Es necesario analizar las señales procesadas por el receptor ya que en alguna de las tramas contienen toda la información donde está relacionada su ubicación, para ello se debe hacer uso de la librería TinyGPSPlus la cual permitirá extraer las variables requeridas como lo son la latitud y la longitud. En la Figura 35 se explica el código implementado, mediante un diagrama de flujo.

Figura 35. Diagrama de flujo del sistema.

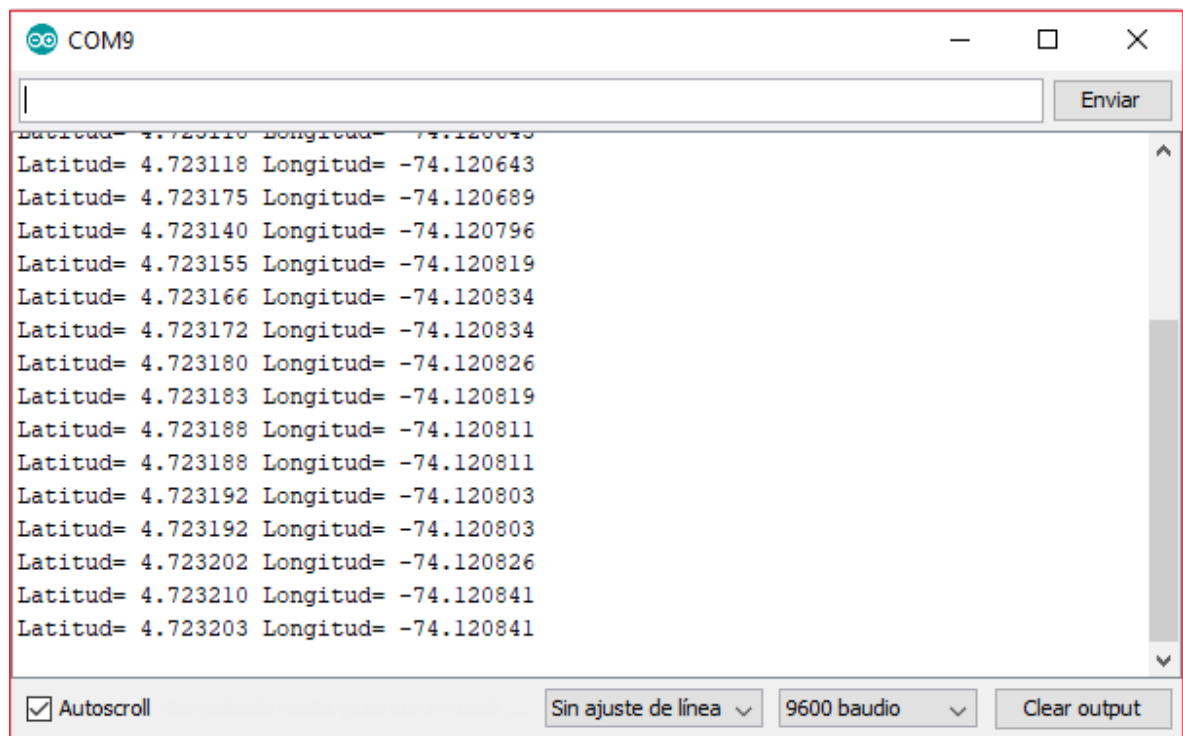


Fuente: Autor.

Una vez cargado el código en la tarjeta Arduino Nano es posible obtener la latitud y la longitud del receptor GPS de una manera clara, a su vez se comprobó que el

receptor se encontraba en perfecto estado ya que se validaron las variables obtenidas ingresando la latitud y la longitud en google maps y correspondían al lugar donde se estaban realizando las pruebas. A continuación, la Figura 36 muestra los datos obtenidos por el modulo una vez es establecida la conexión.

Figura 36. Monitor serial COM9 – Latitud y longitud.

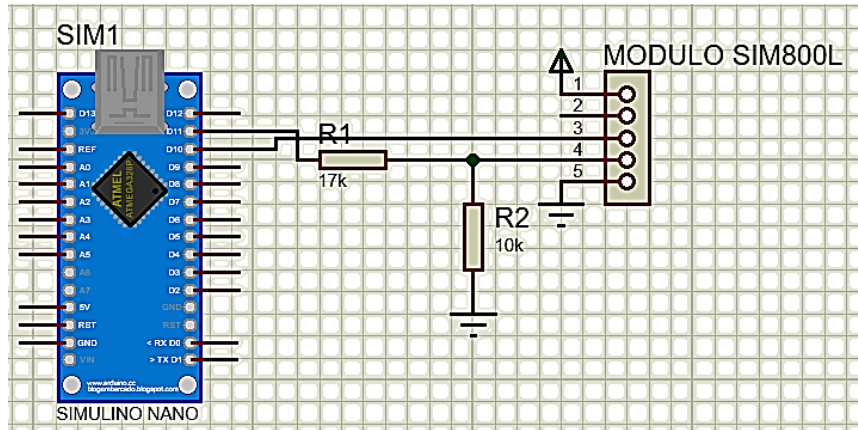


Fuente: Autor.

12.1.2. Prueba del módulo G.S.M SIM800L. Inicialmente se verifico que el módulo GSM encendiera para ello se energizo con un por medio de un cable USB al computador.

12.1.2.1. Comandos del microcontrolador al módulo G.S.M. Se presentan las conexiones realizadas para el correcto funcionamiento del módulo, teniendo en cuenta que la salida de los pines seriales del módulo GSM son de 2.8V y la de la tarjeta Arduino Nano es de 5V se realizó un divisor de voltaje como se muestra en la Figura 37.

Figura 37. Conexión entre Arduino Nano y módulo GSM SIM800L- Proteus.

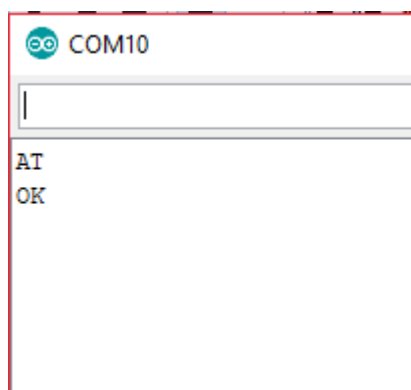


Fuente: Autor.

Para validar y configurar el estado del módulo GSM SIM800L se hace uso de unos comandos AT que se encuentran en el anexo 2. Estos comandos son enviados desde el Arduino Nano, a continuación, se muestran la serie de comandos utilizados para verificar el óptimo funcionamiento del módulo GSM SIM800L.

- **AT.** Con este comando se comprobó el estado del módulo GSM, cuando ya ha establecido conexión con la estación base más cercana el modulo respondió con un OK como se muestra en la Figura 38.

Figura 38. Monitor serial COM10 – Estado de módulo GSM.



Fuente: Autor.

Al ingresar algún comando de otro tipo de modulo o una serie de caracteres incorrectos el módulo GSM va a respondió con la palabra "ERROR" como se muestra en la Figura 39.

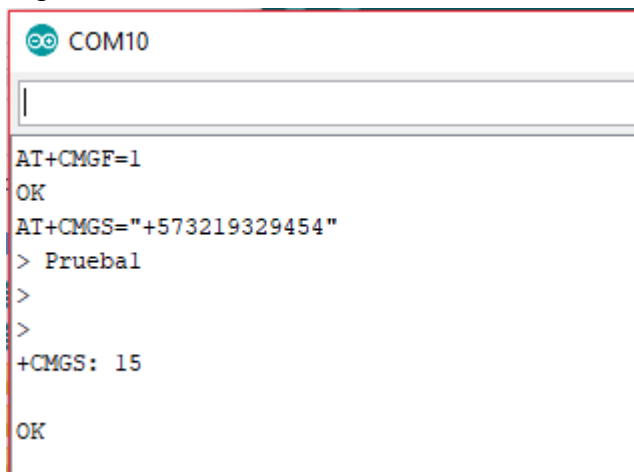
Figura 39. Monitor serial COM10 – Error en comandos AT.



Fuente: Autor.

- **AT+CMGF=1.** Este comando permitió configurar el módulo para enviar y recibir mensajes de texto, una vez realizada la configuración el modulo respondió con un OK.
- **AT+CMGS="XXXXXXXXXX".** Por medio de este comando se configuro al módulo para enviar mensajes a un número de teléfono móvil, fue necesario ingresar el número con el indicativo del país. Por último, se envió un mensaje que contenía la palabra: "Prueba1". Una vez enviado el mensaje el modulo respondió con un OK como se muestra en la Figura 40.

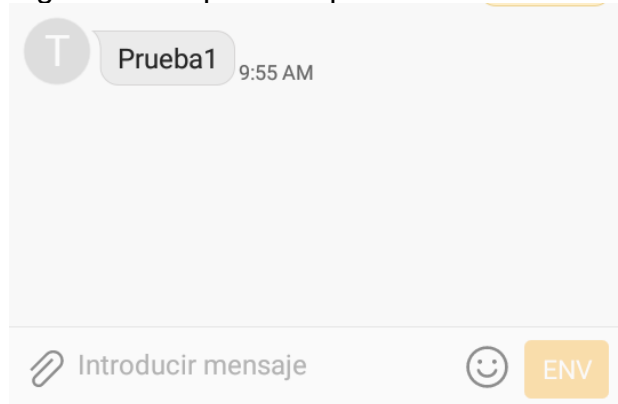
Figura 40. Monitor serial COM10 – Envío de SMS.



Fuente: Autor

Después de ejecutar el comando pasaron 4 segundos, posteriormente el modulo responde con OK y al mismo tiempo llega el mensaje de texto a su destinatario. En la Figura 41 se observa la captura de pantalla tomada.

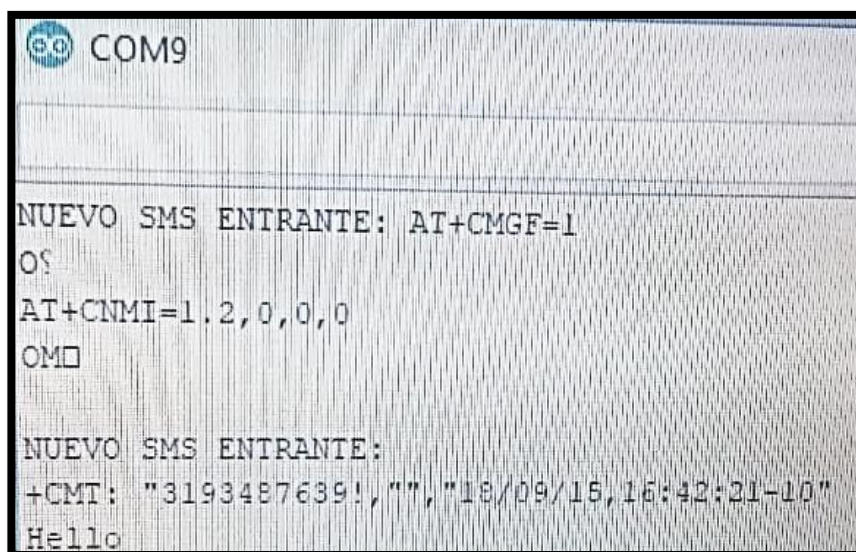
Figura 41. Captura de pantalla Prueba1.



Fuente. Autor

- **AT+CMGF=1.** Se envió un mensaje de texto que contenía la palabra “hello” desde un teléfono móvil al módulo GSM, este comando permitió leer los mensajes recibidos por el modulo. A continuación, la Figura 42 muestra el mensaje recibido en el monitor serial.

Figura 42. Monitor serial COM9 – Envío de SMS.



Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura anterior la trama de datos que recibe el módulo GSM estaba compuesta por el número del destinatario, la fecha y hora completa del mensaje y por último el contenido del mensaje que fue enviado.

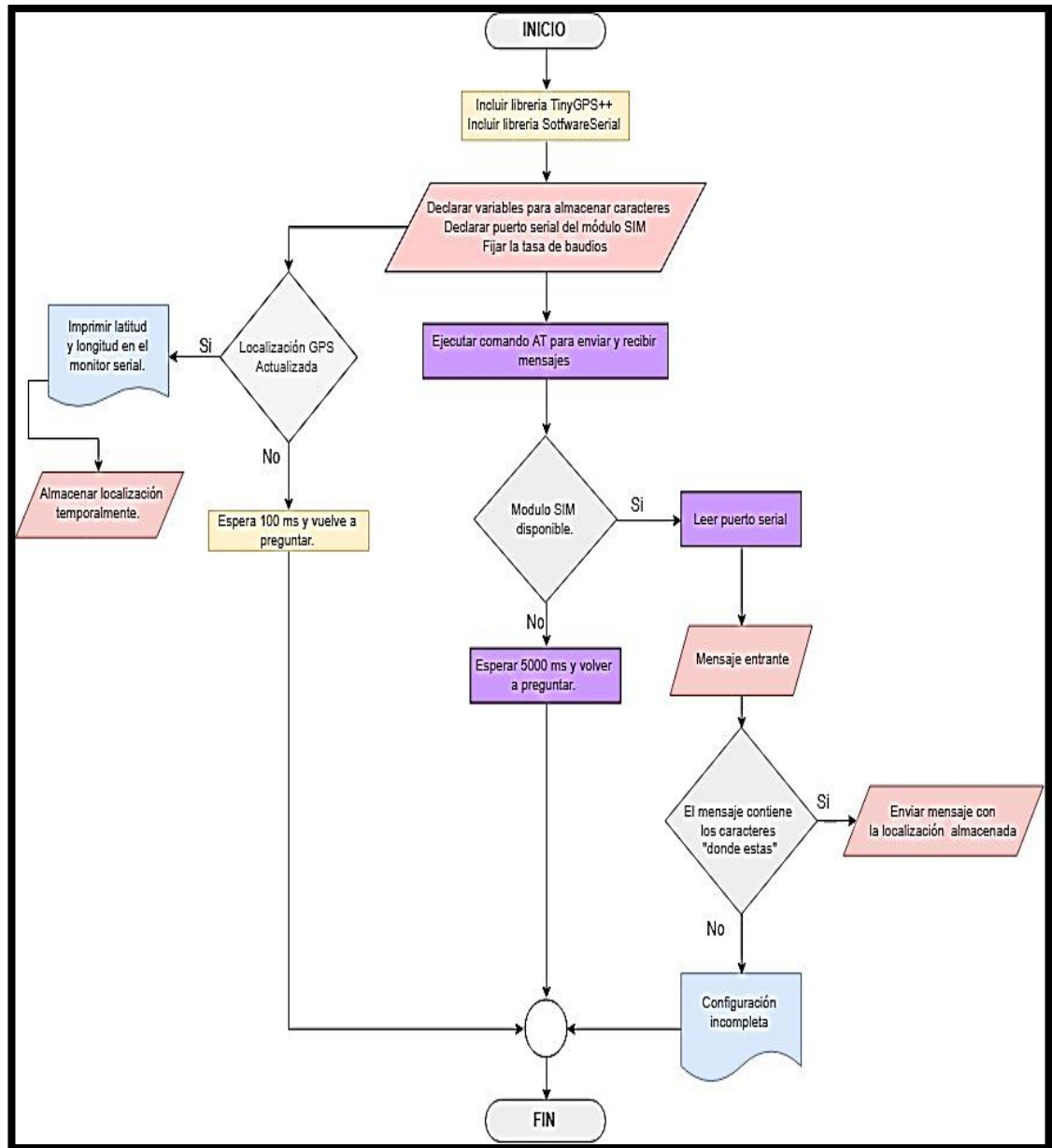
12.2 CODIGO EN ARDUINO NANO

Una vez comprendido y verificado el funcionamiento del módulo G.S.M y el receptor G.P.S, se procedió a realizar el código de línea que fuera capaz de almacenar temporalmente la información de la ubicación recibida por el modulo G.P.S y al recibir un mensaje de texto con el contenido: “donde estas” respondiera inmediatamente un mensaje con su ubicación actual. Para llevar a cabo el código de línea es necesario cumplir lo siguientes requerimientos:

- Cuando se recibe algún mensaje que contiene un conjunto de caracteres “donde estas”, se debe generar un mensaje de respuesta con la localización.
- En caso de que una trama recibida contenga caracteres que no están dentro del “string” en el que se está buscando no se ejecuta ninguna acción.

En la Figura 43 se puede observar el diagrama de flujo del código implementado en Arduino Nano.

Figura 43. Diagrama de flujo – código fuente del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicleta.



Fuente: Autor.

El código de línea programado en Arduino IDE es el puente de comunicaciones y control entre el dispositivo y el usuario.

12.3 ALIMENTACIÓN

Debido a que es necesario que el sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas sea un dispositivo compacto fue indispensable usar una batería de tamaño pequeño, se hizo uso de dos baterías de polímero de litio de 3.7V de 1A conectadas en serie como se muestra en la Figura 44. Se obtuvo un voltaje de 7.4V que fue regulado para alimentar el módulo GSM SIM800L, el receptor GPS Neo 6-M, la tarjeta Arduino Nano y la luz led.

Figura 44. Baterías POLI 3.7V en serie.



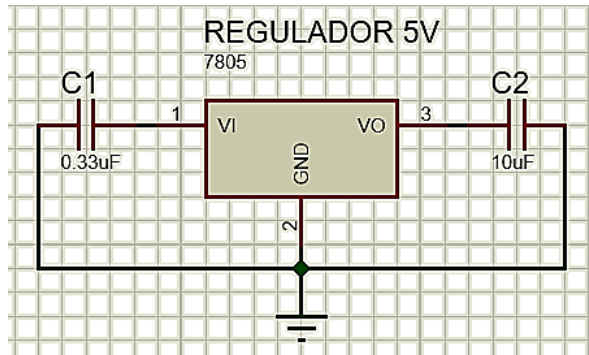
Fuente. Autor.

12.4 REGULADORES DE VOLTAJE

Sabiendo que receptor GPS Neo 6-M, el módulo GSM SIM800L y la tarjeta Arduino Nano tienen un voltaje de operación de 3.3V, 4V y 5V respectivamente fue necesario implementar unos reguladores de voltaje para que el dispositivo la alimentación del dispositivo pudiera abastecer la demanda de los módulos.

Regulador para tarjeta Arduino Nano. Se implementó un regulador de 5V haciendo uso del regulador de tensión UA7805, un condensador de acople de entrada de 0.33 μ F y otro condensador que acopla la salida con un valor de 10 μ F como se muestra en la Figura 45.

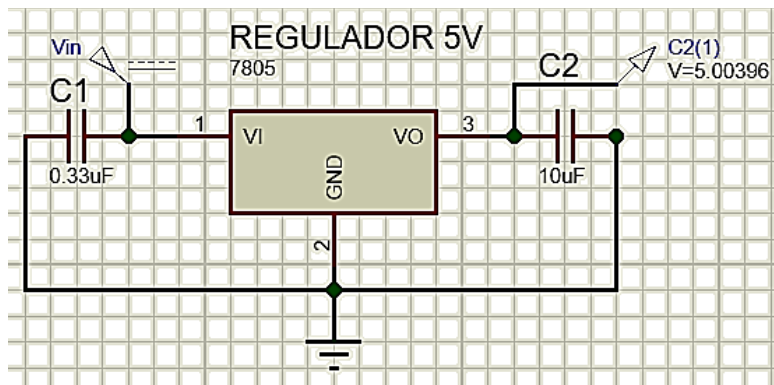
Figura 45. Regulador de 5V – Tarjeta Arduino Nano.



Fuente: Autor.

Se midió el voltaje respectivo que debía haber entre la salida del regulador y tierra obteniendo un voltaje de 5V como se puede evidenciar en la Figura 46.

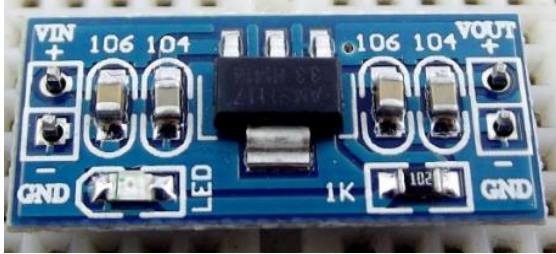
Figura 46. Medición salida de voltaje – Regulador 5V.



Fuente. Autor

- Regulador para el receptor GPS Neo 6-M: Teniendo en cuenta que el receptor GPS tiene un voltaje de trabajo en el rango de 3.1V-3.6V se hizo uso de un módulo AMS1117 que se muestra en la Figura 47. Regula voltajes de entrada que hasta de 15V y genera una salida fija de 3.3V.

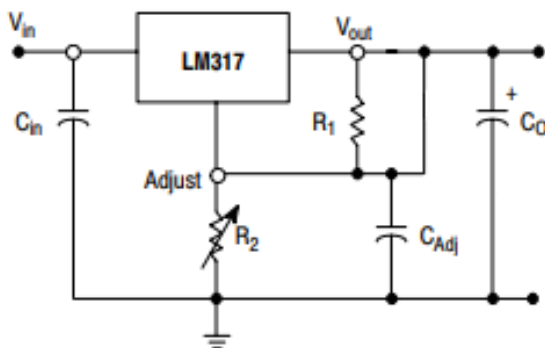
Figura 47. Modulo regulador de tensión AMS1117.



Fuente: Autor

- Regulador módulo GSM SIM800L. Para regular el módulo GSM se hizo uso de un regulador de voltaje LM317, el cual permite variar el voltaje hasta obtener el requerido por el modulo que es 4V. Se implementó una configuración que se muestra en la Figura 48, esta se encuentra en el datasheet del regulador.

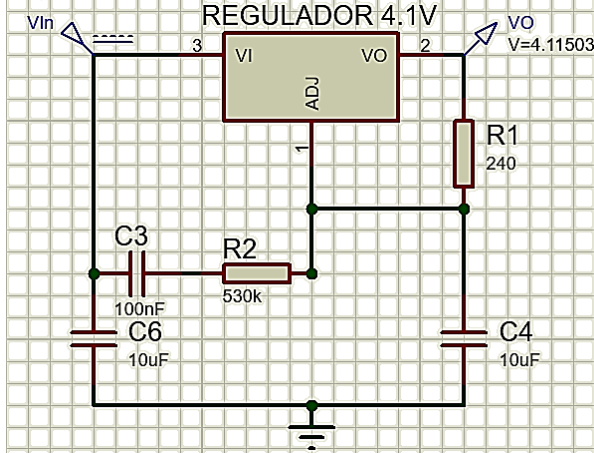
Figura 48. Esquema regulador de voltaje variable.



Fuente: ALLDATASHEET.COM.

El circuito realizado para obtener un regulador de salida variable se observa a continuacion, la variacion se hizo por medio de trimmer hasta que fue posible generar el voltaje deseado. Se midió el voltaje respectivo que debía haber entre la salida del regulador y tierra obteniendo un voltaje de 4V como se muestra en la Figura 49.

Figura 49. Medición salida de voltaje – Regulador 4V en proteus.

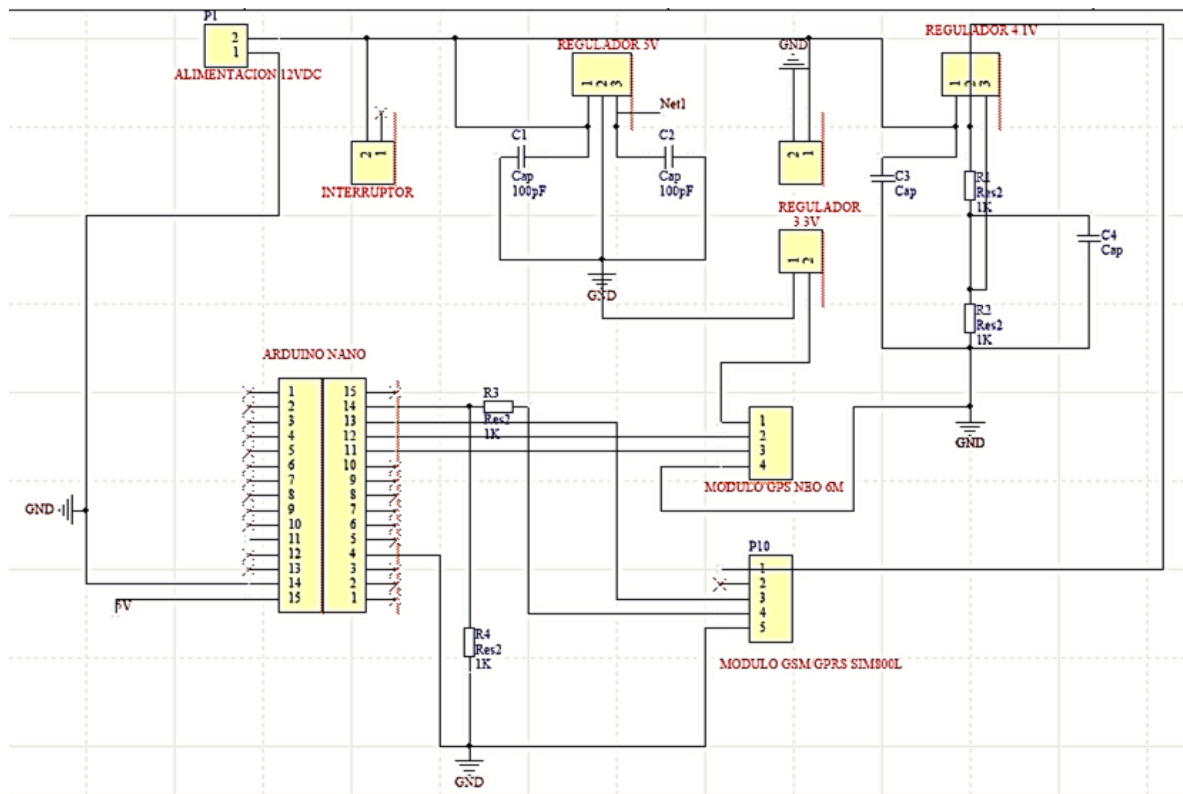


Fuente: Autor.

12.5 IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO ELECTRONICO DEL SISTEMA

Se verifico que al integrar todos los componentes del circuito no hubiera ningún corto al energizar el módulo GSM con el regulador de 4.1 V y la tarjeta Arduino Nano con el regulador de 5 V. A continuación, se muestra en la Figura 50 el circuito implementado.

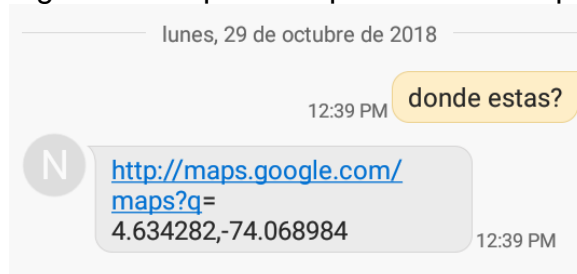
Figura 50. Circuito del sistema integrado electrónico antirrobo para bicicletas en Altium Designer 17.



Fuente. Autor.

Se envió un SMS con la frase: “¿dónde estás?” al número de la tarjeta SIM que tenía puesto el módulo GSM y la respuesta obtenida fue un enlace de Google maps que contenía la latitud y longitud del módulo en ese momento como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Captura de pantalla – SMS prueba 1.



Fuente. Autor

Para verificar que la respuesta recibida fuera correcta se copió y pegó la URL en el navegador y se obtuvo la ubicación como lo ilustra la Figura 52.

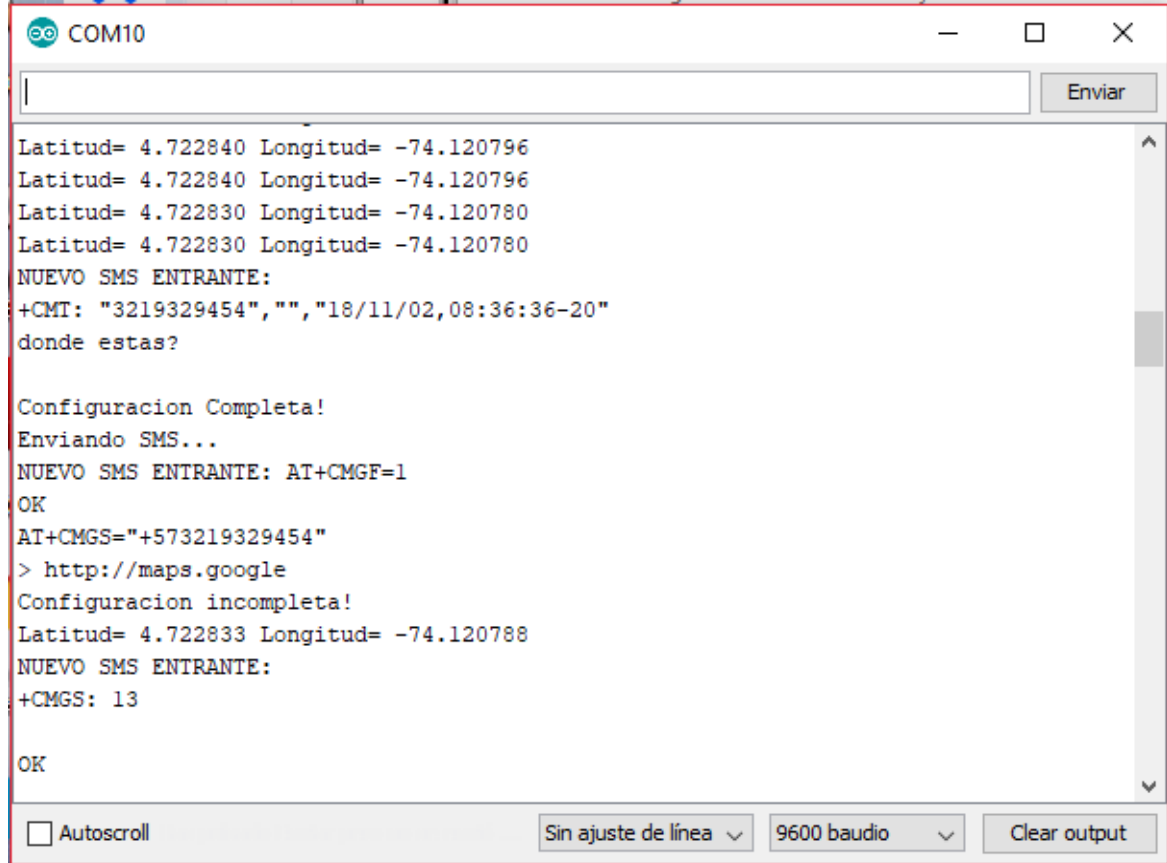
Figura 52. Captura de pantalla – Google maps prueba 1.



Fuente: Autor.

Como se observa en la Figura 52 se obtuvo la respuesta esperada teniendo en cuenta que la prueba 1 se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia. Luego se envió SMS con la frase: “¿dónde estás? al número de la tarjeta SIM que tenía el módulo GSM y se revisó el procesamiento y ejecución de la información que estaba realizando la tarjeta Arduino Nano como se muestra en la figura 53.

Figura 53. Monitor serial COM10 – Prueba 2.

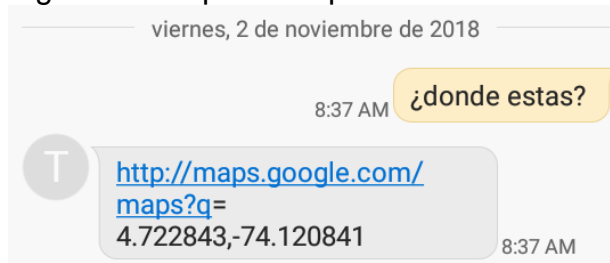


Fuente: Autor.

Como se puede observar en la figura 53 la tarjeta Arduino Nano está recibiendo constantemente las variables de latitud y longitud, cuando llega un mensaje con la frase: “donde estas” el Arduino imprime en el monitor serial: ¡Configuración Completa! Y seguidamente empieza a enviar los comandos AT requeridos por el modulo para hacer el envío del mensaje de texto con el enlace a Google maps que incluye la latitud y longitud actual.

En la Figura 54 se muestra la respuesta recibida en el teléfono móvil.

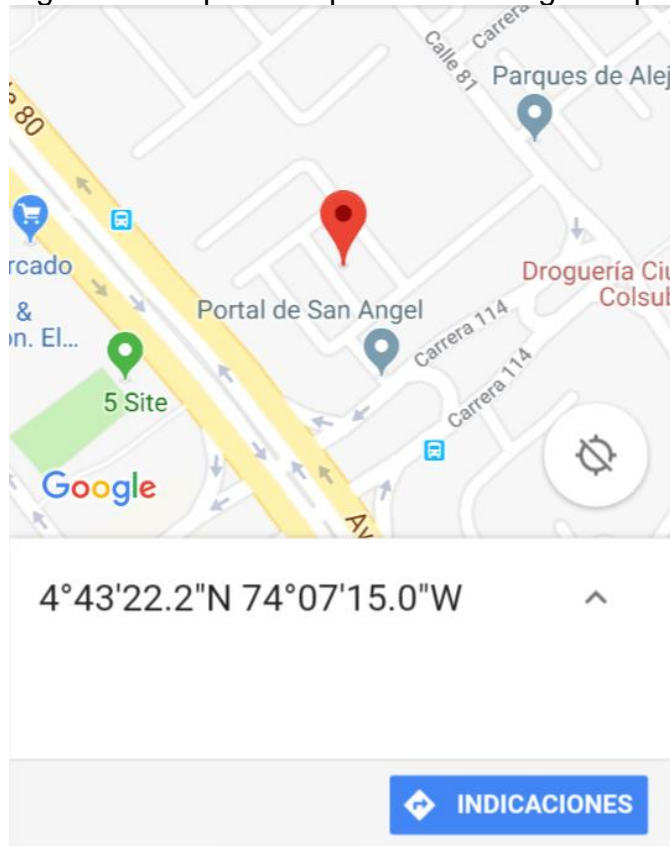
Figura 54. Captura de pantalla – Prueba 2.



Fuente. Autor

Para verificar la ubicación se copió y pegó nuevamente la URL al navegador y la respuesta obtenida concuerda con la ubicación del receptor GPS, como se puede observar en la Figura 55.

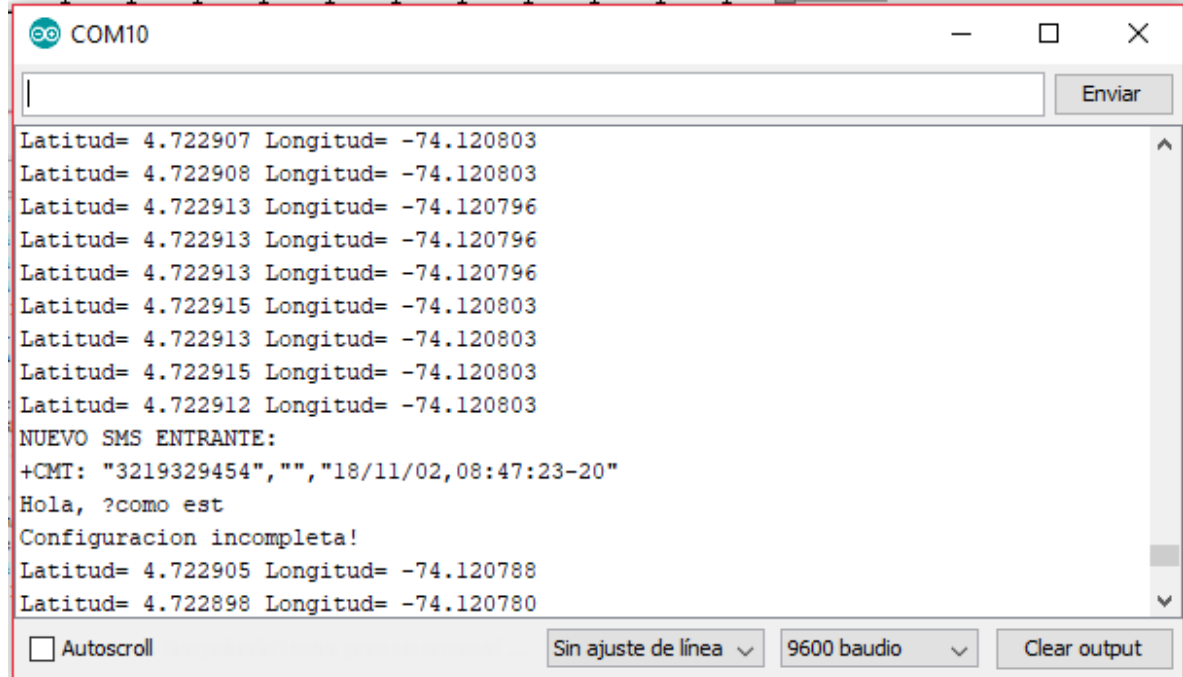
Figura 55. Captura de pantalla – Google maps prueba 2.



Fuente: Autor.

En la tercera prueba se envió SMS con la frase: “Hola, ¿cómo está? Al número de la tarjeta SIM que tenía el módulo GSM y se revisó el procesamiento ejecución de la información que estaba realizando la tarjeta Arduino Nano como se muestra en la Figura 56.

Figura 56. Monitor serial COM10 – Prueba 3.



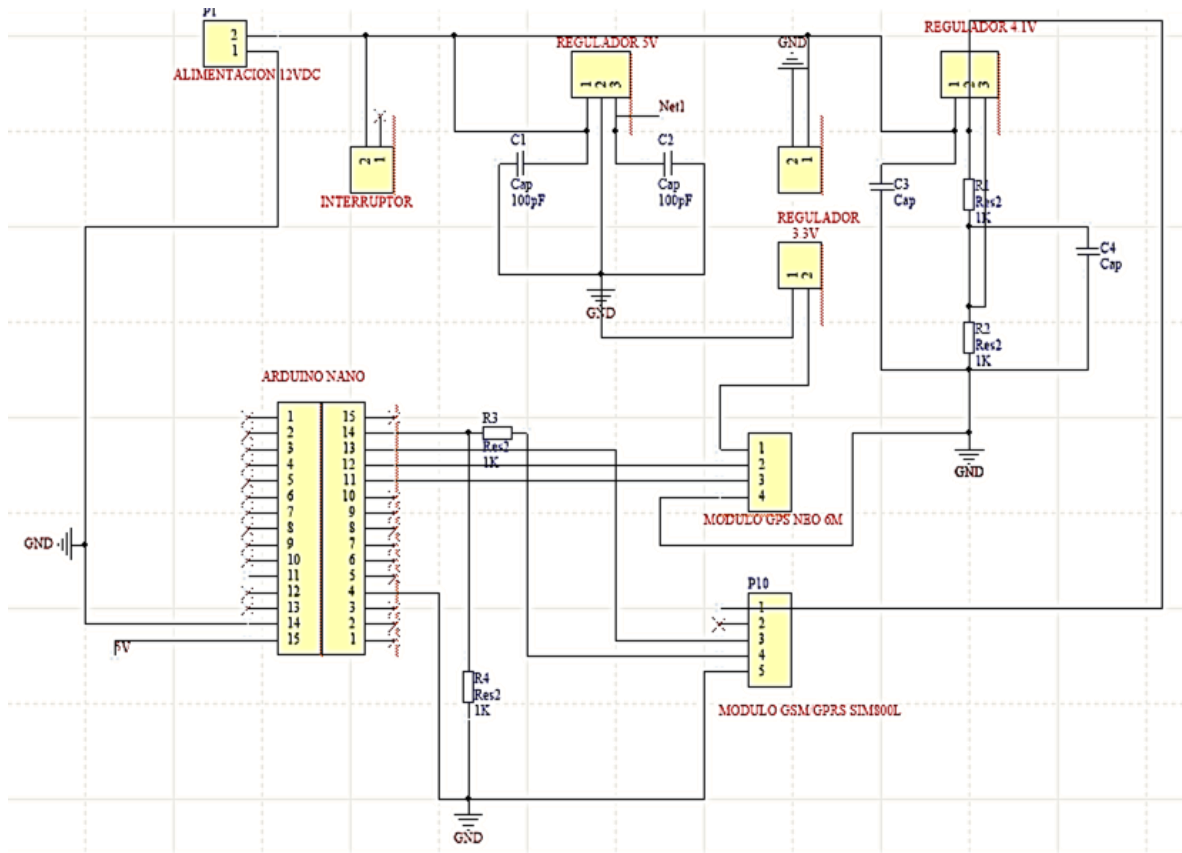
Fuente: Autor.

Como se observa en la figura anterior se visualiza que la tarjeta Arduino Nano hace la lectura del mensaje, pero al no encontrar el conjunto de caracteres que busca imprime en el monitor serial "¡Configuración incompleta!" y continúa recibiendo las variables correspondientes a latitud y longitud proporcionadas por el receptor GPS Neo 6-M.

12.6 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)

Inicialmente se realizó el diseño esquemático del circuito electrónico que comprende el sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas, el diseño fue desarrollado en el software Altium Designer 17® como se muestra en la Figura 57. Se hizo uso de varios heaters para realizar la huella del interruptor que encenderá la luz led, la tarjeta Arduino Nano, el módulo GSM SIM800L, el modulo GPS Neo 6M y el regulador de tensión AMS1117.

Figura 57. Esquemático del circuito en Altium Designer 17.

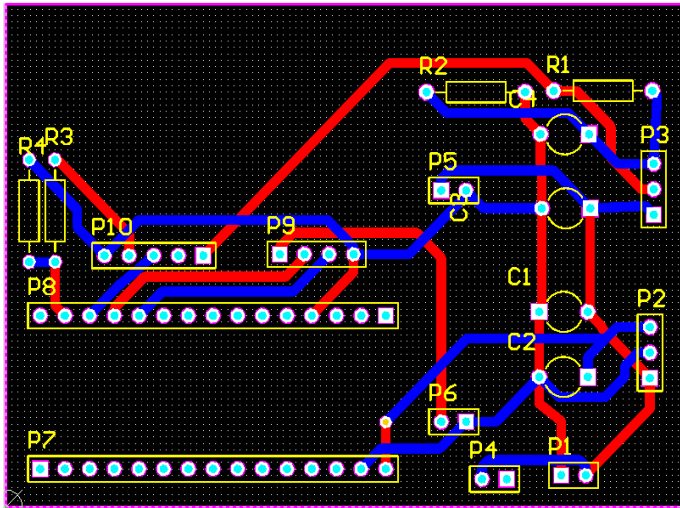


Fuente: Autor.

Después de tener el diseño esquemático se procedió a realizar el ruteo de la PCB que se muestra en la Figura 58 teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- No dejar ángulos de 90° en las pistas para evitar que radiaciones electromagnéticas.
- Evitar que las pistas queden una encima de la otra independientemente estén separadas por el sustrato ya la combinación de las pistas y el aislante crean una capacitancia.
- Evitar que las antenas queden cerca ya que puede producirse una interferencia.

Figura 58. Ruteo de la PCB en Altium.

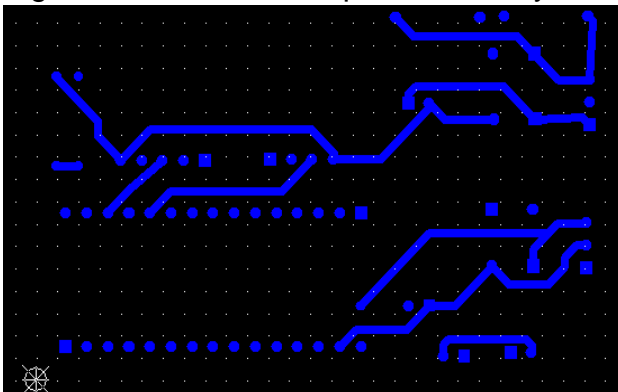


Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que el ruteo realizado de la PCB fue doble capa es necesario realizar dos archivos Gerber; uno denominado bottom layer que corresponde a la parte inferior del sustrato y el segundo se conoce como top layer y es donde se sitúa la parte superior del circuito.

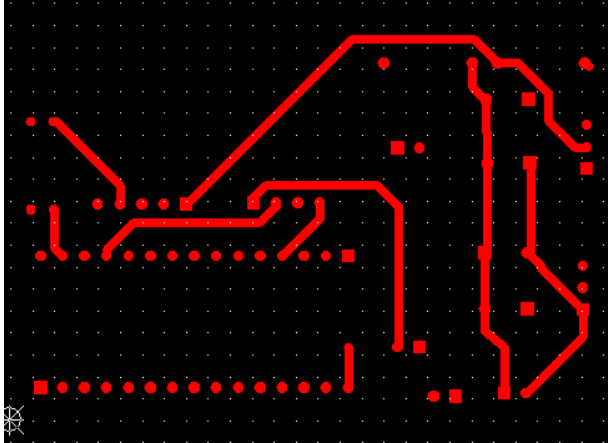
La Figura 59 y la Figura 60 muestran los dos gerbers requeridos para la realización de la PCB en la máquina de la empresa LPKF Laser & Electronics la cual es un plotter fresador bastante usado para la fabricación de prototipos y series pequeñas de placas de circuito impreso.

Figura 59. Gerber de capa Bottom Layer.



Fuente: Autor

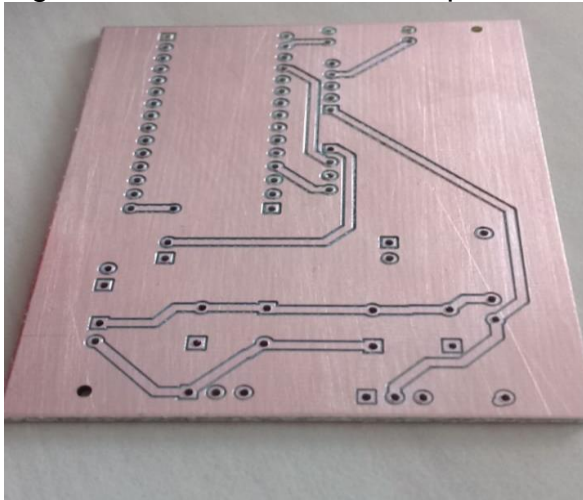
Figura 60. Gerber de capa Top Layer.



Fuente: Autor.

La fresadora LPKF se encarga de levantar el cobre en los extremos de las pistas, fue necesario calibrar la cámara de la máquina de tal forma que se posicionara exactamente en el centro del punto guía que se asignó para que pudiera empezar con el ruteo. El proceso duro aproximadamente 25 minutos y el resultado obtenido se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Ruteo del circuito impreso doble cara.

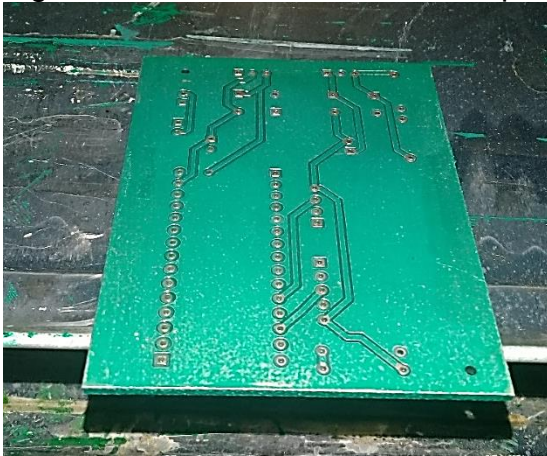


Fuente: Autor.

Posteriormente se usó una pintura verde especial para la elaboración de placas de circuito impresos, se pintó el circuito impreso por cada cara uniformemente teniendo en cuenta que no se taparán los huecos donde irán los componentes. Se realizaron los siguientes pasos:

- Se ubicó el circuito impreso en un horno de tal forma que ninguna de las caras tuviera contacto completo con la base de la bandeja como se muestra en la Figura 62, luego se graduó el horno a una temperatura de 90°C y se dispuso el circuito impreso dentro del horno durante un tiempo de 5 minutos.

Figura 62. Ubicación del circuito impreso en el horno.



Fuente: Autor.

Pasados los 5 minutos se pegaron unos fotolitos al circuito impreso por cada una de las caras, los fotolitos contienen los espacios de cobre donde se soldarán los componentes y se pusieron en una cámara de luz que se muestra en la Figura 63.

Figura 63. Cámara de Luz.

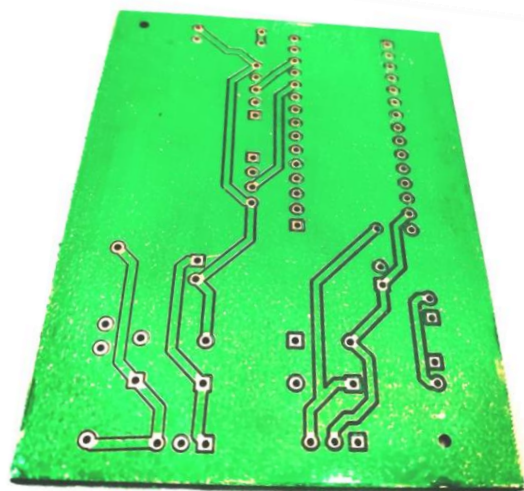


Fuente: Autor.

Después se puso el circuito impreso en un ácido que se encargó de retirar el exceso de pintura que había en los lugares donde irán los puntos de soldadura. Por último,

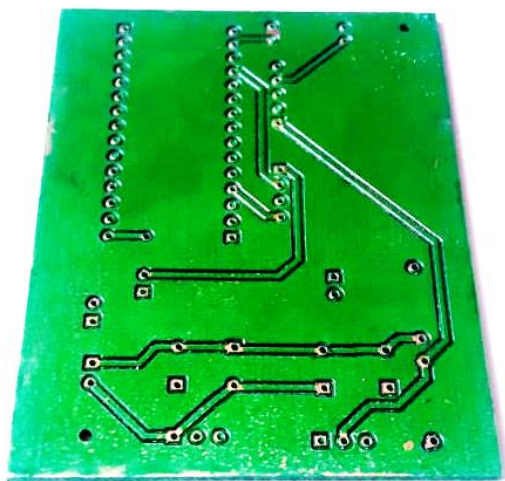
se puso el circuito impreso en el horno durante 20 minutos. En la Figura 64 y 65 se muestra el resultado final obtenido en cada una de las capas de la PCB.

Figura 64. PCB – Capa Bottom Layer.



Fuente: Autor.

Figura 65. PCB – Capa Top Layer.



Fuente: Autor.

12.7 ENCERRAMIENTO ELECTRONICO

Con el objetivo de lograr que el dispositivo pasara desapercibido por un delincuente y también pudiera ser usado en cualquier bicicleta (ya que como se mencionó en apartados anteriores cada bicicleta posee características de marco y manubrio diferentes), se concluyó hacer una luz trasera para bicicleta que en su interior incorpore el circuito electrónico del sistema de rastreo, para esto se hace uso de una luz led patch roja y una batería alcalina de 12V correspondiente a la alimentación de la luz. A continuación, en la Figura 66 se muestra la luz de patch y su correspondiente batería.

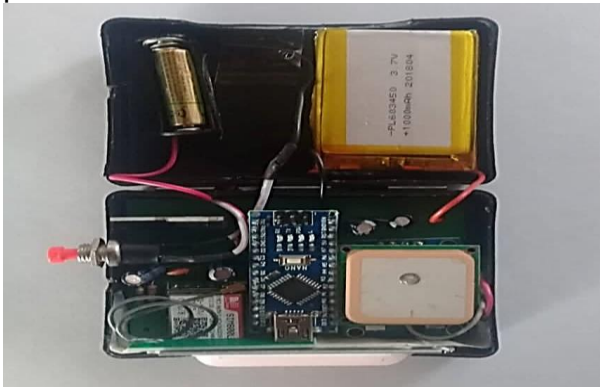
Figura 66. Luz led patch roja y batería alcalina 12V



Fuente. Autor

Por último, se incorporó la PCB, la luz led de patch y las baterías en un encerramiento electrónico de plástico que se muestra en la Figura 67, el cual se ajusta a la necesidad de tamaño que posee el dispositivo. También tiene un interruptor que permite encender el sistema o la luz led trasera. La PCB fue asegurada al encerramiento electrónico de dos extremos diagonales con tornillos de tamaño pequeño, las baterías se pegaron a una cinta de doble fase con el fin de evitar movimientos indeseados mientras se hace uso del dispositivo y también se aseguró externamente el encerramiento con unos tornillos puestos que garantizan el ajuste compacto del dispositivo.

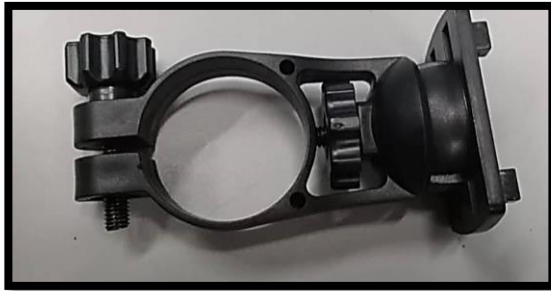
Figura 67. Encerramiento electrónico del Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.



Fuente. Autor

Para colocar el dispositivo en la bicicleta fue necesario un soporte que se ajuste al encerramiento electrónico, también que no fuera fácil de desmontar y capaz de soportar la vibración causada por el movimiento del vehículo. El soporte utilizado tiene una agarradera circular que se ubica en el tubo del sillín lo que lo hace ideal para ser colocado en cualquier bicicleta. En la Figura 68 se muestra soporte del encerramiento electrónico.

Figura 68. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte.



Fuente. Autor

Como se observa anteriormente el soporte tiene dos tipos de ajustes, en el extremo permite ajustar el soporte al tubo, y el segundo tipo permite que el encerramiento electrónico tenga un pequeño tipo de movilidad, es decir, permite la inclinación del dispositivo y lo asegura con la tuerca. En la Figura 69 y 70 se muestra el dispositivo elaborado junto con el soporte.

Figura 69. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte.



Fuente. Autor

Figura 70. Sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas con soporte – Luz encendida.



Fuente. Autor

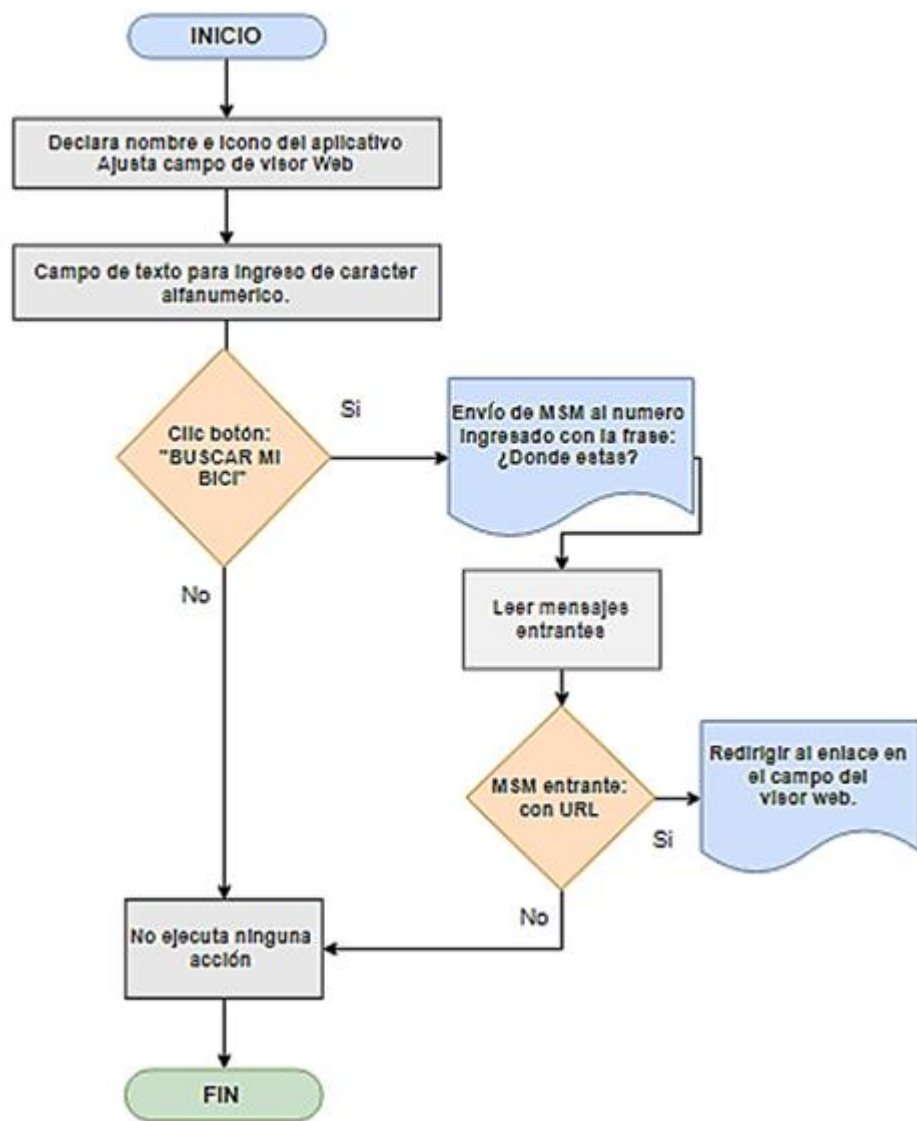
12.8 APLICATIVO MOVIL

Por último se diseñó un aplicativo móvil para android en el software App inventor llamado LocBike, el código de línea implementado se encarga de enviar los mensajes de búsqueda de manera automática sin necesidad de que el usuario ingrese a su aplicación de mensajes, otra de las funciones principales es leer los mensajes recibidos, buscar un conjunto de caracteres que determinan el contenido de un enlace web y permitir la visualización en pantalla de un mapa de google maps, donde se encuentra el marcador que corresponde a la localización que envía el dispositivo. La Figura 71 contiene el diagrama de bloques detallado que explica cada uno de los procesos ejecutados por la aplicación.

Adicionalmente para un correcto funcionamiento del aplicativo a la hora de realizar la búsqueda de la bicicleta, el usuario deberá seguir unos sencillos pasos dados a continuación los cuales permitirán enlazar adecuadamente los procesos que debe ejecutar en el aplicativo móvil.

1. Ingrese el número de la SIMCARD que tienen instalada el dispositivo.
2. Clic en el botón BUSCAR MI BICI
3. Espere a que cargue en pantalla el mapa de google con la localización de la bicicleta.

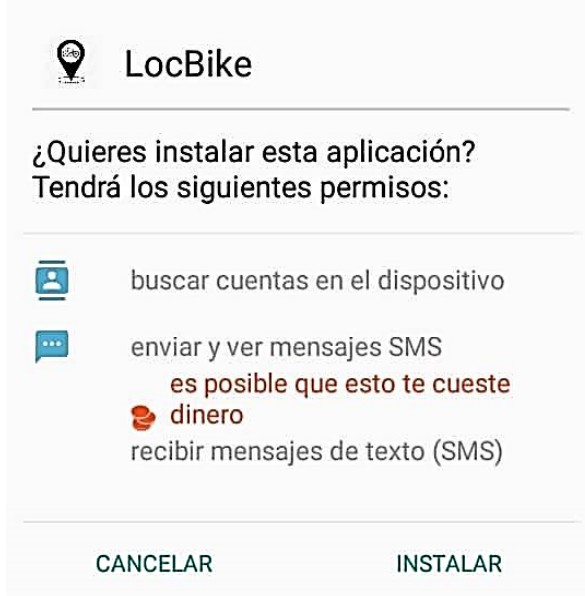
Figura 71. Diagrama de bloques de código fuente – Aplicativo LocBike



Fuente. Autor

Al finalizar el programa se descargó el archivo APK con un tamaño de 3,42 MB a un teléfono móvil, al iniciar el proceso de instalación la aplicación requiere dos permisos de usuario indispensables para su utilización el primero es buscar cuentas en el dispositivo y el segundo enviar, ver y recibir mensajes de texto como se muestra en la Figura 72.

Figura 72. Captura de pantalla – Instalación app LocBike



Fuente. Autor

A continuación, en la Figura 73 se puede observar en la interfaz del usuario.

Figura 73. Interfaz de usuario diseñada en app inventor



Fuente. Autor

12.9 MONTAJE DE DISPOSITIVO EN BICICLETA

Una vez listo el encerramiento con su respectivo soporte se procedió a colocar el dispositivo del sistema electrónico integrado antirrobo en el tubo del sillín de una bicicleta fixie como se muestra en la Figura 74 y se realizó la prueba final del sistema haciendo uso de la aplicación LocBike.

Figura 74. Sistema electrónico integrado antirrobo montado en bicicleta fixie



Fuente. Autor

En prueba final la bicicleta se encontraba exactamente en la dirección Cra 22 # 63D-84, una persona se encontraba con el móvil y el aplicativo listo para él envió del mensaje en la Calle 63 con Carrera 24 donde procedió a realizar el procedimiento mencionado anteriormente para iniciar la búsqueda de la bicicleta

13. ANALISIS DE RESULTADOS

La localización enviada por el receptor GPS en la prueba final que se visualiza en el aplicativo LocBike es posible evidenciarla en la Figura 75, en esta prueba se hizo uso de google maps donde se siguieron las indicaciones para llegar a la ubicación recibida, una vez la persona se situó en el punto indicado por el aplicativo fue posible observar que la ubicación real de la bicicleta se encontraba aproximadamente a 4 metros.

Figura 75. Captura de pantalla - Prueba final



Fuente. Autor

Dentro de las pruebas de campo realizadas se obtuvo un margen de error que oscila entre 4 y 8 metros de distancia con respecto a la ubicación real de la bicicleta, las pruebas fueron realizadas en diferentes lugares, aquellos donde se obtuvo mayor margen de error fue en terrenos boscosos y en lugares cubiertos que tenían ventanales.

La señal G.P.S se perdió en edificios, parqueaderos cubiertos e interiores que no tenían fuente de luz visible, el sistema hizo el envío de la última localización obtenida antes de perder conexión, solo fue capaz de establecer conexión con los satélites en un interior o edificio si se encontraba cerca de una ventana. Es recomendable actuar rápido si se presenta el hurto de la bicicleta ya que existe la posibilidad de obtener una localización desactualizada si la bicicleta llega a ser guardada en una bodega o cualquier lugar en donde se pierda la línea de vista con cielo.

Al instalar el aplicativo móvil LocBike para el sistema operativo solicito permisos de usuario para buscar cuentas en el dispositivo acción que permite asociar una aplicación con otra en este caso se asoció con la aplicación de mensajes, el otro permiso requerido fue el de enviar y ver mensajes de texto en el que aclaro la posibilidad de que se generara un costo monetario por su uso, al hacer clic en instalar se concedieron los permisos requeridos. La aplicación lee todos los mensajes recibidos no distingue entre mensajes personales o confidenciales, pero estos mensajes no son tomados en cuenta ya que está diseñada para permitir la visualización en pantalla de una URL recibida.

Una vez enviado el mensaje de texto para localizar la bicicleta el sistema integrado antirrobo para bicicletas responde al usuario con otro mensaje de texto donde incorpora la URL de un mapa de google que contiene su latitud y longitud actual, este mensaje tarda aproximadamente un minuto en llegar al usuario. El dispositivo quedo asegurado correctamente, como se observa en la Figura 74 la intensidad lumínica que presenta es bastante favorable y su tamaño es acorde en relación con el tamaño de la bicicleta.

La alimentación del sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas tuvo una duración de una semana y dos días haciendo uso del él durante 4 horas al día de lunes a sábado, después de esto se recargo con un adaptador de 5V – 1A y un cable USB mini tipo B. La luz led patch presento una autonomía de 70 horas aproximadamente, después de este tiempo la intensidad de la luz empezó a disminuir hasta dejar de encender, lo que indica que requiere un cambio de batería.

14.IMPACTO DEL PROYECTO

El trabajo de grado, tendrá un impacto a nivel personal para el consumidor quien podrá disfrutar los beneficios y servicios que presta el dispositivo, brindándole una sensación de seguridad al usar su bicicleta y la oportunidad de recuperarla si llega a ser hurtada. A nivel social el dispositivo funciona como herramienta para disminuir la tasa de hurto que se presenta actualmente en Bogotá (diariamente son robadas 8-10 bicicletas en la capital según la secretaria distrital de seguridad), teniendo en cuenta que no solo será un respaldo que garantiza certeza al bici usuario, sino que también será una prueba contundente para empezar un proceso judicial en contra del delincuente.

Teniendo en cuenta que Bogotá es la ciudad de Latinoamérica con la mayor cantidad de viajes diarios en bicicleta, se presenta una gran oportunidad de mercado en la cual se puede incursionar obteniendo utilidades y generando empleos. Se espera que el producto llegue a toda la comunidad de bici usuarios que hacen uso de la bicicleta ya sea como deporte o como medio de transporte e incluso aquellas personas que no hacen uso de la bicicleta por la inseguridad que siente al andar por las calles capitalinas.

15.DESCRIPCION ECONOMICA DEL PROYECTO

A continuación, Tabla 7 relaciona todos los componentes electrónicos y materiales usados para el desarrollo del trabajo de grado.

Tabla 7. Componentes electrónicos y materiales requeridos para el llevar a cabo sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas.

COMPONENTES	CANTIDAD	PRECIO (COP)
Módulo GSM SIM800L	2	\$50.000
Receptor GPS Neo 6M	2	\$78.000
Tarjeta Arduino Nano	2	\$28.000
Baterías POLI 3.7V	2	\$34.000
Modulo cargador de batería	1	\$5.000
Modulo regulador de tensión 3.3v	1	\$3.500
UA7805	2	\$4.000
LM317	1	\$1.500
Condensadores	7	\$3.500
Resistencias	2	\$400
SIM CARD+Recargas	3	\$15.000
Bateria Alcalia 12V	2	\$6000
Luz led tipo pacht	2	\$15000
Soporte plástico	1	\$25000
Total		\$283.900

Fuente. Autor

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema electrónico antirrobo de seguridad para bicicletas adecuado para hacer un monitoreo a distancia en cualquier tipo de bicicletas con un dispositivo compacto de tamaño pequeño, ligero y con buena eficiencia energética.

El margen de error de la localización obtenida por el sistema con respecto a la ubicación real es el esperado (5-10 metros aproximadamente) teniendo en cuenta la tecnología usada, sin embargo, es una longitud mínima donde la bicicleta es visible a simple vista e identificada fácilmente.

Se desarrolló un aplicativo móvil para el sistema operativo android llamado LocBike el cual es la interfaz que será usada por el usuario, donde es posible visualizar en un mapa de google la ubicación que envíe el dispositivo, el aplicativo permitirá crear un vínculo digital entre el dispositivo de rastreo y el usuario.

Se recomienda al usuario tener saldo disponible para realizar el envío de mensajes de texto, así como también tener el móvil conectado a una red WI-FI o en su defecto tener activos datos móviles para poder visualizar la ubicación de la bicicleta en el mapa de google mostrado por el aplicativo.

Es necesario hacer uso de una SIMCARD del operador de telefonía Tigo en el sistema de rastreo electrónico de telecomunicaciones ya que es el único operador que logro establecer una rápida conexión en la red 2G, una tarjeta SIM del operador claro tardaba aproximadamente 5 minutos en establecer conexión con la red y se caiga intermitentemente mientras que con el operador Movistar nunca se logró establecer una conexión con la red.

El sistema electrónico integrado antirrobo para bicicletas es una solución bastante útil para la capital colombiana ya que generara seguridad y confianza en los usuarios que hacen uso de la bicicleta.

Es necesario tener en cuenta que los resultados obtenidos hacen parte de una primera etapa de desarrollo el sistema electrónico integrado de seguridad para bicicletas continuara siendo desarrollado como un proyecto independiente que busca hacer mejoras de diseño, tamaño y fuentes de alimentación.

16.ANEXOS

Anexo 1. Código fuente comunicación serial Arduino Nano

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial GPS(4,3);

char inf=' ';
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  GPS.begin(9600);
}

void loop() {
  if(GPS.available()) {
    inf=GPS.read();
    Serial.print(inf);
    delay(100);
  }
}
```

Anexo 2. Comandos AT de módulo SIM800L – Mensajes de texto

Command	Description
AT+CMGD	Delete SMS message
AT+CMGF	Select SMS message format
AT+CMGL	List SMS messages from preferred store
AT+CMGR	Read SMS message
AT+CMGS	Send SMS message
AT+CMGW	Write SMS message to memory
AT+CMSS	Send SMS message from storage
AT+CNMI	New SMS message indications
AT+CPMS	Preferred SMS message storage
AT+CRES	Restore SMS settings
AT+CSAS	Save SMS settings
AT+CSCA	SMS service center address
AT+CSCB	Select cell broadcast SMS messages
AT+CSDH	Show SMS text mode parameters
AT+CSMP	Set SMS text mode parameters
AT+CSMS	Select message service

BIBLIOGRAFIA

ACCES INTELLIGENCE LLC. Matsushita Affiliate Introduces First GPS-equipped Electric Bicycle, Satellite Today. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.

ALIBAKHSHIKENARI, M.; LIMITI, E.; NASER-MOGHADASI, M.; VIRDEE, B. S. SADEGHZADEH, R.A. New wideband planar antenna with band-notch functionality at GPS, Bluetooth and Wi-Fi bands for integration in portable wireless systems. 2017. Recopilado en: 25 de octubre de 2018.

BOREL, B. How to Thwart Bicycle Thieves. 2012. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

BURBUJA VIRAL. Uso de llaves inglesas para abrir candados. 2018. Recopilado en: 17 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/Bmniq8>).

CARPIET, L. Tech startup's anti-theft GPS is 'LoJack for bicycles'. 2015. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

CARVALZA. Sistema de Posicionamiento Global. Abril de 2017. Recopilado en: 15 de octubre de 2018.

CECCHETTINI, J. La nueva clase de bicicleta de cebo. *Law Enforcement Technology*. 2016. p. 36-38. Recopilado en: 16 de octubre de 2018.

CERNA SÁNCHEZ. EDUARDO. Sistemas GSM/GPRS. Recopilado en: 12 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://slideplayer.es/slide/5512621/>).

EFDEPORTES. El sistema de posicionamiento global y los receptores GPS. Marzo de 1998. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/1ddvmJ>).

ELECTRONICAESTUDIO.COM. ¿Qué es un microcontrolador? 2018. Recopilado en 27 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/EE6jSJ>).

ELECTRÓNICA Z&C. Regulador de voltaje LM-7905 integrado TO-220. Recopilado en: 20 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/xFJV4a>).

EL ESPECTADOR. Cada tres horas es hurtada una bici en Bogotá (en línea). 9 de febrero de 2018. Recopilado en: 11 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/jiZN4Y>).

FAIN. PABLO ALEJANDRO. Cómo funciona la red GSM. 30 de mayo de 2009. Recopilado en: 10 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/N99sXd>).

FRANZ, C. Trilateración vs Triangulación, 2018. Recopilado en: 3 de noviembre de 2018.

GEMALTO. Encendiendo las cosas. Recopilado en 11 de diciembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2SFcHzV>).

GIMÉNEZ RODRÍGUEZ. TAMARA, ROS BERNABEU. MARÍA ELENA. Sistema de posicionamiento global (GPS). 2010. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/gSgG8d>).

GUIASPRACTICAS.COM. Baterías de polímero de litio. 25 de mayo de 2017. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/MtrzcX>).

HETPRO. Modulo cargador de batería de litio 5V 1A MINI USB. 2018. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/zj5rnR>).

INVESTOR'S BUSINESS. GPS-tracked bikes roll into NYC. 2010. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.

JOO, S. OH, C. JEONG, E. LEE, G. Categorizing bicycling environments using GPS-based public bicycle speed data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015. p. 239 – 250. Recopilado en: 16 de octubre de 2018.

JOSÉ JOSKOWICZ. Conceptos Básicos de Telefonía. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2LhEpR7>)

KZGUNEA. Geolocalizazioa, Informatica eta Teknologia berria. 2017. Recopilado en: 15 de octubre de 2018.

LABICICLETA.INFO. Tipos de bicicleta. 2017. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://labicicleta.info/tipos-de-bicicleta/>).

LESSER, C. Tracking Devices Offer Retailers a New Revenue Source. 2015. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

MACTRONICA. Arduino Nano con conversor USB FT232RL. Recopilado en: 28 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/PbuqxX>).

MECHATRONIC STORE. Modulo GPS GY-NEO6MV2 ublox. Recopilado en: 18 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/dHaoFC>).

MINITRONICA. Enviando SMS con Arduino y SIM800L. Recopilado en: 25 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/scsnf2>).

MURPHY. PATRICK J. Robo a mano armada. 2018. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/Y5EzAW>).

ORANGE BUSINESS. Sherlock Connects GPS-Based Anti-Theft Device for Bicycles to Global IoT Network from Orange Business Services. 2016. Recopilado en: 22 de octubre de 2018.

Pillou. Jean-François. Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). 2017. Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/DhHw36>).

PUNTO FLOTANTE S.A. Funcionamiento del sistema de posicionamiento global GPS. Recopilado en: 2 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/zaBCSB>).

SALUDCAPITAL. Código penal (Ley 599 de 2000). Recopilado en: 15 de noviembre de 2018. Tomado de: (<https://bit.ly/2zWwSCu>).

SHERLOCK. Dispositivo GPS integrado. Recopilado en: 22 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://www.sherlock.bike/en/>).

SPYBIKE. top cap tracker. Recopilado en: 23 de octubre de 2018. Tomado de: (<https://goo.gl/PHkehG>).

TELIT WIRELESS. Brazilian Technology Company Announces New Bike Taillight with Embedded Tracking Device. 2010. Recopilado en: 24 de octubre de 2018.

VAN SACK, J. BRIEF: ELEMNT provides a GPS and more for your bike. 2016. Recopilado en: 20 de octubre de 2018.